

Aus der Klinik und Poliklinik für
Kieferchirurgie
(Direktor: Prof. Dr. Dr. D. Schlegel)
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität München

ANATOMIE DER SPONGIOSASTRUKTUR
DES
MENSCHLICHEN UNTERKIEFERS ALS FUNKTION
PHYSIOLOGISCHER BELASTUNG

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Hubert Schamberger
aus
Dollnstein
1980

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität
München

Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. D. Schlegel

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung:15.1.1981.....



Meiner Frau
und
meinem Vater
in Dankbarkeit gewidmet

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
A Einleitung	1
I. Theorie der funktionelle Anpassung des Knochens auf mechanische Belastung	2
II. Funktion und Struktur der Spongiosa des menschlichen Unterkiefers	5
III. Funktion und Struktur der Kompakta des menschlichen Unterkiefers	7
B Problemstellung der eigenen Untersuchungen	8
C Material und Methode	13
I. Material	13
II. Klassifikation der untersuchten Unterkiefer	23
III. Schnittführung	25
IV. Methoden zur Auswertung von Unterkiefer-schnitten	29
V. Die Röntgenmethode	33
VI. Bezugsachse zur Messung der Winkel der Spongiosaelemente	35
VII. Aufteilung der Röntgenbilder in Meßbezirke und Methode der Winkelmessung	39
D Tabellarische Meßergebnisse	43
E Auswertung der Meßergebnisse	54
I. Graphische Darstellung	54
II. Bildung statistischer Mittelwertsunterkiefer	68

	Seite
a. tabellarisch	71
b. graphisch	74
III. Fehlerdiskussion	78
F Diskussion	80
G Zusammenfassung	102
H Literaturverzeichnis	103

A. Einleitung

Seit etwa 150 Jahren wird die Frage nach der Zweckmäßigkeit des Knochenaufbaues gestellt und mit verschiedenen Methoden untersucht.

Inwieweit der Bau des Unterkieferknochens von seiner Funktion abhängt, ist trotz einer Menge diesbezüglicher Untersuchungen nicht endgültig geklärt.

Gesichert erscheint, daß sich in manchen Bereichen des Unterkiefers die Ausrichtung der Spongiosa aus der mechanischen Funktion ergibt, und auch die Kompakta eine der Funktion angepaßte Verteilung aufweist.

Diese Aussage wird erhärtet durch die Kombination spannungsoptischer Analysen von Modellkörpern im Vergleich mit Festigkeitskurven (Küppers 1971).

Im Hinblick auf das Theorem der funktionellen Anpassung hat Motsch (1965) im Bereich des aufsteigenden Unterkieferastes bereits eine Gesetzmäßigkeit in der Spongiosaarchitektur nachgewiesen, die wohl eindeutig an der physiologisch mechanischen Belastung des Unterkiefers in vivo orientiert ist.

A I. Theorie der funktionellen Anpassung des Knochens
auf mechanische Belastung

Die Reaktion des Knochens in Bezug auf die Ausbildung einer geometrisch funktionellen Struktur nach Art und Weise der mechanischen Belastung, ist wissenschaftlich gut fundiert.

Das Theorem der funktionellen Anpassung besagt, daß die Spongiosaelemente in ihrem Mittelwert im wesentlichen den Ausrichtungen der Hauptspannungslinien entsprechen, wenn man dazu eine physiologische Belastung des Knochens zugrunde legt, und daß der Knochen durch dieses Anpassungsverhalten zum Körper gleicher Festigkeit wird. So sind beispielsweise die Orte der größten mechanischen Belastung neben einer dieser Belastung angepaßten Geometrie des Knochens durch das Vorhandensein einer entsprechenden Knochensubstanzmenge charakterisiert.

Auch für den Unterkiefer, für den das Gesetz der funktionellen Anpassung früher lange verneint wurde, gilt dieses Gesetz nach Motsch (1965) eingeschränkt. Das für den Unterkiefer dieser Nachweis erst 1965 geführt wurde, liegt wohl in der außerordentlichen Schwierigkeit einer kinematischen Analyse aller physiologisch möglichen mechanischen Belastungsmöglichkeiten. Motsch erkennt eine funktionelle Gestalt des Unterkiefers nur in den Bereichen an, in denen auch bei wechselseitiger Belastung immer die gleiche Belastungsqualität auftritt, also im Bereich des Gelenkfortsatzes, im Alveolarfortsatz und im aufsteigenden Ast. Küppers beweist darüberhinaus 1971 nun mit spannungsoptischen Experimenten die funktionelle Struktur der gesamten Unterkieferspongiosa.

Er summiert die spannungsoptischen Bilder, die er durch verschiedene Belastungen erhalten hat. Durch photographische Überprojektion erhält er ein statistisches Trajektorienbild. Dieses

am spannungsoptischen Modell erhaltene Trajektorienbild vergleicht er mit den Spongiosastrukturen des dazugehörigen Unterkiefers. Die Übereinstimmung kann man als Beweis für die funktionelle Struktur ansehen.

Bereits Mitte des vorigen Jahrhunderts fiel den Anatomen eine gesetzmäßige Struktur der Spongiosa, besonders im Femurkopfbereich auf.

Der Ingenieur und Mathematiker Culmann (1873) erkannte eine auffallende Ähnlichkeit der gezeigten Knochenlinien mit den Trajektorien ähnlich geformter Körper. Die Trajektorien, d.h. die Normalspannungstrajektorien, die sogenannten Zug- und Drucklinien, schneiden sich überall nur unter einem rechten Winkel.

Humphry (1858) beschrieb schon 24 Jahre vor Meyer (1882), der als der Entdecker der trajektoriellen Anordnung der Spongiosaelemente gilt, Spongiosaelemente, die senkrecht auf die Gelenkfläche zulaufen und sich untereinander auch senkrecht kreuzen.

Wolff vertiefte diese Erkenntnis und stellte (1892) sein berühmtes Transformationsgesetz auf. Unter der Beanspruchung funktionseller Kräfte richten sich die Spongiosaelemente orthogonal nach den Spannungstrajektorien aus.

In den folgenden Jahrzehnten befaßte sich eine Vielzahl von Autoren mit dieser Behauptung.

Erst durch die bemerkenswerten Arbeiten von Pauwels (1948) kann aber diese Theorie als gesichert gelten.

Pauwels wies nach, daß die trajektoriell ausgerichteten Spongiosabälkchen achsial belastet werden. Ihre Dicke, Dichte und die Anzahl der Bälkchen entspricht an jeder Stelle der auf sie einwirkenden Spannungsgröße.

Pauwels zeigte weiter, daß die Spongiosatrajektorien als biegungsfreies Fachwerk mit größter Materialersparnis gebaut sind.

Sowohl die mechanischen Spannungsrichtungen, als auch die Größenverteilung dieser Spannungen steuert den Umbau des Knochens und bewirkt so die trajektorielle Ausrichtung der Spongiosa. An Stellen völliger Bewegungsfreiheit können die Bälkchen jedoch von der Trajektorienrichtung abweichen. Alle diese Ausführungen betreffen hauptsächlich die Spongiosa. Die Frage nach Sinn und Zweck und den Aufgaben der Kompakta und Spongiosa unter physiologischen Bedingungen bereitet jetzt noch einige Schwierigkeiten. In den beiden folgenden Abschnitten wird die gegenwärtige Auffassung zu beiden Strukturen dargelegt.

A II. Funktion und Struktur der Spongiosa des menschlichen
Unterkiefers

Seit Walkhoff (1901), der sich als erster mit der Spongiosastruktur der menschlichen Unterkiefer beschäftigte, mangelt es nicht an Versuchen einer Dokumentation der Spongiosaarchitektur.

Görke (1903), Dieck (1911), Barth (1919) u. a. benützten wie Walkhoff die Röntgenmethode und entwarfen auf Grund ihrer Ergebnisse bestimmte Trajektorienschemata.

Davida (1915), Winkler (1921), Sicher und Tandler (1928) und Katz (1931) lehnten die Röntgenmethode ab und experimentierten mit Knochenschliffen und Schnitten. Sie fanden im horizontalen und aufsteigenden Ast bestimmte Spongiosazüge, aber kein orthogonales bzw. trajektorielles System. Eine trajektorielle Anordnung konnte nur im Gelenkfortsatz und zum Teil im Alveolarfortsatz gefunden werden.

Dieses Ergebnis greift Motsch (1965) in seiner Arbeit auf und bringt es mit seinen Ergebnissen in Übereinstimmung.

Daneben gibt es eine Reihe von namhaften Autoren, [Toldt (1904), Grunewald (1921), Winkler (1921), Franke (1922), Weidenreich (1922), Wegener (1926), Katz (1931) und Zeiger (1933)] die eine trajektorielle Struktur der Spongiosa bezweifeln.

Benninghoff (1934) hielt die Grundform der Unterkiefer für erbt und deutete die Struktur als Wachstumsstruktur - also rein genetisch determiniert -. Der Funktion maß er nur eine untergeordnete Rolle bei.

Tatsächlich ist auch wirklich die Grundform des Unterkiefers vererbt; sie ist nicht funktionsabhängig und besitzt keine funktionelle Struktur. Nur die Spongiosa des Alveolarfortsatzes und

des Gelenkfortsatzes erfüllt die Bedingungen einer funktionell trajektoriell gerichteten Knochenstruktur.

Küppers (1971) hat aber mit seiner oben erwähnten Methode bewiesen, daß die Architektur der Spongiosa trajektoriell ausgerichtet ist, also die Spongiosaelemente sich überall rechtwinklig kreuzen.

A III. Funktion und Struktur der Kompakta des menschlichen Unterkiefers

Lange Zeit waren die Funktion der Kompakta wie auch ihre funktionelle Struktur weitgehend ungeklärt.

Durch Vergleich spannungsoptischer Messungen an Modellen mit Festigkeitsuntersuchungen an Originalunterkiefen Schmitt (1968), Küppers (1971) wurde nachgewiesen, daß die mechanische Hauptlast von der Kompakta getragen wird. Dies bestätigt die Forderung nach der funktionellen Anpassung; der Unterkiefer ist ein Körper gleicher Festigkeit.

Über die innere Struktur der Kompakta als Anpassungsfunktion an die mechanische Belastung ist damit noch keine Aussage möglich.

Nach Einführung der Spaltlinienmethode nach Benninghoff (1925) glaubte man an eine trajektorieell-funktionell ausgerichtete Struktur der Kompakta. Man vermutete anhand der Spaltlinien -sie geben den Verlauf der Osteone nur an der Oberfläche der Kompakta an - Spannungstrajektorien auch in der Kompakta zu erkennen.

Arbeiten von Pauwels (1948) zeigten, daß auf Biegung beanspruchte Knochen auf ihrer Oberfläche ganz andere Spannungstrajektorien aufweisen, die keineswegs mit den Spaltlinien übereinstimmen (Knese 1958).

Die Kompakta besitzt also eine der Funktion angepaßte, aber nicht durch die Funktion bedingte Struktur (Motsch 1965). Die Festigkeit des Unterkiefers wird den verschiedenen Belastungen nicht durch die Anordnung der Osteomstruktur gerecht, sondern durch unterschiedliche Unterkieferquerschnittsformen und Materialdichteverteilung.

B Problemstellung der eigenen Untersuchungen

Das Theorem der funktionellen Anpassung des Knochens an seine mechanische Belastung fordert eine trajektorielle Ausrichtung seiner materiellen spongiösen Bestandteile und zugleich die Bedingung, daß die Knochenspongiosa wie auch die Knochenkompakta einen Körper gleicher Festigkeit bilden. Die Materialverteilung ist proportional der mechanischen Beanspruchung.

Daß dieses Gesetz der funktionellen Anpassung auch für den Unterkiefer gilt, wurde vor allem durch die Arbeiten von Küppers (1971) und Motsch (1965) in eindrucksvoller Weise bestätigt.

Die Materialsverteilungskurven von Küppers (1971), - densiometrisch an Röntgenbildern bei Sagittalschnitten von Unterkiefern aufgenommen und mit Belastungsdiagrammen mit den spannungsoptischen Erstarrungsverfahren ermittelt - zeigen eine gute Übereinstimmung.

Bei der Durchsicht der Arbeiten zur funktionellen Anatomie der Unterkiefer fällt auf, daß bei spannungsoptischen Versuchen an Modellen nach Trajektoriensystemen gesucht wird, die auch die Natur im Originalunterkiefer realisiert.

Küppers (1971) ist als einzigem dieser Versuch gelungen. Ob diese Erkenntnis zu verallgemeinern ist, muß erst noch bewiesen werden.

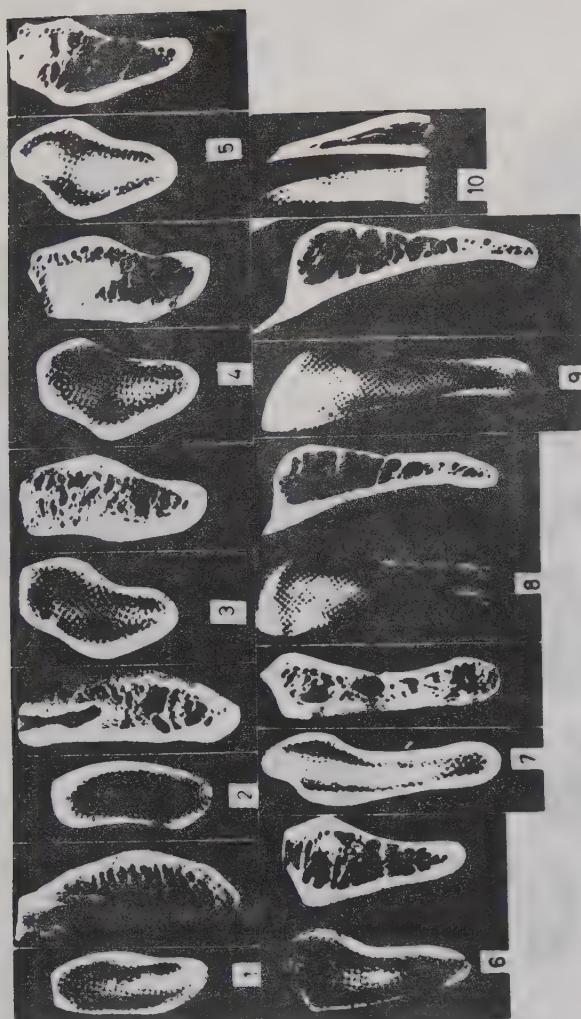


Abb. 1: Gegenüberstellung der Spongiosaarchitektur des Unterkiefers mit den Spannungstrajektorien eines belasteten Unterkiefervollprofils mittels des Erstarrungsverfahrens nach Küppers.

In Abbildung 1 wird eines der Ergebnisse der Arbeit von Küppers (1971) dargestellt, der in Anlehnung an die Theorie der funktionellen Anpassung eine Übereinstimmung von Spannungsmustern links und zugehöriger Originalspongiosastruktur rechts zeigt.

Es existiert keine Arbeit, die den Versuch unternimmt den Verlauf der Spongiosastrukturen statistisch für eine große Zahl von Unterkiefer auszuwerten und daraus Rückschlüsse auf die funktionelle Struktur zu ziehen. Auf den ersten Blick erscheint ein solches Unterfangen unmöglich und auf Grund der Komplexität der Spongiosastruktur nicht durchführbar.



Abb. 2: Röntgenaufnahmen verschiedener transversaler Unterkieferschnitte.

Betrachtet man sich allerdings Röntgenbilder von Unterkieferschnitten, so fällt eine gewisse Systematik im Verlauf der Spongiosaelemente auf.



Abb. 3: Schematisch grob vereinfachter Spongiosaverlauf eines röntgenologisch untersuchten Unterkieferschnittes.

Abbildung 3 zeigt das Röntgenbild eines Unterkiefertransversalschnittes (links). Rechts wurde eine Nachzeichnung angefertigt, die den systematischen Verlauf der Spongiosabälkchen hervorhebt.

Die Aufgabe dieser Arbeit ist es nun, eine Methode zur Erfassung dieser Spongiosabälkchen in Richtung und Verlauf zu ent-

wickeln. Mit statistischer Methodik soll eine Gesetzmäßigkeit erarbeitet werden, die in Abhängigkeit von der Form und Bezeichnung des Unterkiefers einen typischen Spongiosaverlauf erkennen läßt.

Als Anwendung der Ergebnisse käme eine Berechnung elektrischer Felder in Betracht, die z.B. nach einer Unterkieferfraktur einen beschleunigten Heilungsverlauf durch Elektrostimulation induzieren könnten.

Ein mechanisch belasteter Knochen zeigt in vivo einen piezoelektrischen Effekt. Der piezoelektrische Effekt ist eine vektorielle Größe. Die Kenntnis der Geometrie der Knochenstruktur ermöglicht so den strukturspezifischen Einsatz von elektromagnetischen Feldern zur vektoriell regelrechten Wachstumsstimulation. Dies gilt insbesondere für die Spongiosa, die ihre Richtung nach der Belastung, also auch nach piezoelektrischen Größen ausrichtet.

In der Praxis müßte man demnach den Verlauf der Spongiosabälkchen im betrachteten Unterkiefer kennen, um eine strukturgerechte Therapie von lädierten Knochen elektromagnetisch zu begünstigen.

Durch das Ergebnis dieser Arbeit, die statistisch für gewisse "Unterkiebertypen" den Spongiosaverlauf erfaßt und diesen in einem Koordinatensystem aufzeichnet, das unabhängig von der Unterkieferform ist, wird der Weg für eine vektoriell sinnvolle Berechnung elektromagnetischer Felder geebnet.

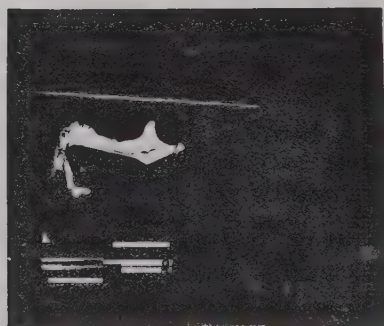
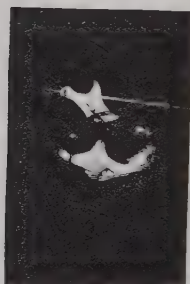
C I. Material

Untersucht wurden 182 menschliche Mandibulahälften. Die Präparate stammten aus der anatomischen Anstalt der LMU München und sind im Rahmen des makroskopischen Präparierkurses zur Verfügung gestellt worden.

Bei allen Präparaten lagen genaue Unterlagen über Alter und Geschlecht vor. Das Durchschnittsalter lag bei 74,6 Jahren und das Geschlechtsverhältnis betrug 1:1. Wegen des makroskopischen Präparierkurses war eine große Anzahl von Mandibeln durch die Präparation im Bereich des collum ascendens, zur Darstellung des nervus alveolaris inferior unbrauchbar geworden, da die knöchernen Anteile in diesem Bereich so stark zerstört waren, daß sie für eine spätere Betrachtung nicht mehr herangezogen werden konnten.

Nach vollständiger Entnahme und Säuberung der knöchernen Mandibelhälften stellte sich heraus, daß nur noch 142 Präparate für unsere Auswertung zu verwenden waren. Vierzig Hälften waren auch im transversalen Abschnitt der Mandibula durch Präparation im Kursverlauf unbrauchbar geworden.

Die restlichen zur Auswertung verbliebenen Präparate konnten entsprechend reponiert und anschließend vermessen werden.





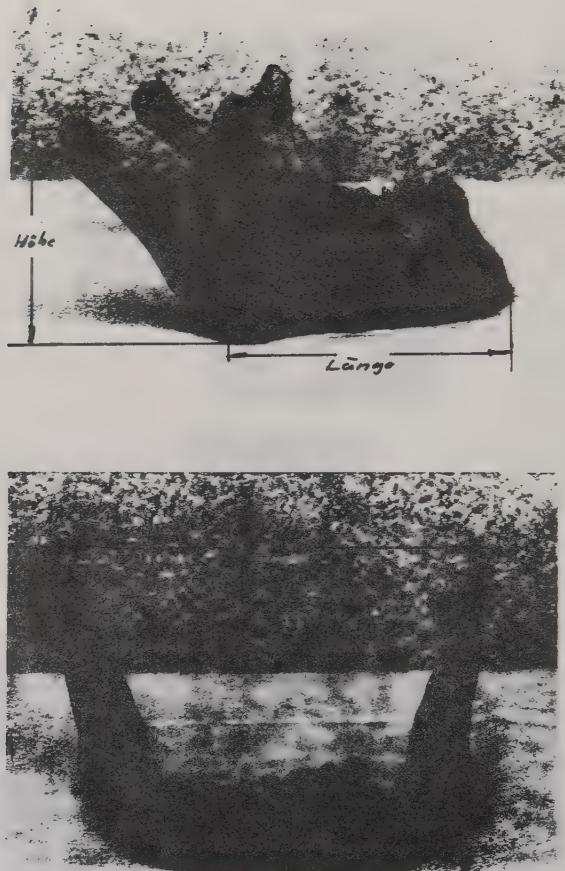


Abb. 4: Die Abbildungen 4a - 4g zeigen das meßtechnische Vorgehen, zur Ermittlung der Unterkieferaussenabmessung.

Gemessen wurde die Länge von Kieferwinkel zur Symphyse, die Höhe des collum ascendens von der Basis zu den Kondylen, der Kondylenabstand, sowie der Kieferwinkel.

Tabellarische Zusammenfassung der ermittelten Daten.

Tab. 1: Untersuchtes Leichenmaterial an der anatomischen Anstalt der LMU München, mit den dort verwendeten Registriernummern.

Tab. 1:

Leichenr.	Geschlecht	Alter	Leichenr.	Geschlecht	Alter	Leichenr.	Geschlecht	Alter
93/75	♂	68	65/77	♂	76	8/78	♂	93
5/76	♀	82	66/77	♂	87	9/78	♀	92
28/76	♂	60	67/77	♀	68	10/78	♀	75
29/76	♂	60	68/77	♂	66	11/78	♂	64
45/77	♂	67	69/77	♂	81	12/78	♀	83
46/77	♂	70	70/77	♀	67	13/78	♀	58
47/77	♂	88	71/77	♂	86	14/78	♂	77
48/77	♂	84	72/77	♀	67	15/78	♀	75
49/77	♂	57	73/77	♂	80	16/78	♂	69
50/77	♀	86	74/77	♀	67	17/78	♂	87
51/77	♂	72	75/77	♂	75	18/78	♂	78
52/77	♀	68	76/77	♂	70	19/78	♀	88
53/77	♂	69	77/77	♀	74	20/78	♀	80
54/77	♀	92	78/77	♀	78	21/78	♂	76
55/77	♀	75	80/77	♀	72	22/78	♀	87
56/77	♀	67	82/77	♂	85	23/78	♀	66
57/77	♂	67	83/77	♂	77	24/78	♂	54
58/77	♂	79	1/78	♀	80	25/78	♂	46
59/77	♀	78	2/78	♀	74	26/78	♂	85
60/77	♂	83	3/78	♂	66	27/78	♀	80
61/77	♀	83	4/78	♀	76	29/78	♂	76
62/77	♂	47	5/78	♀	79	30/78	♀	82
63/77	♂	92	6/78	♀	78	31/78	♀	59
64/77	♀	80	7/78	♀	78	32/78	♂	73

Leichennummer	Geschlecht	Alter
33/78	♂	68
34/78	♀	78
35/78	♀	69
36/78	♂	70
38/78	♂	56
39/78	♂	64
40/78	♀	84
41/78	♂	59
44/78	♀	78
45/78	♀	86
46/78	♀	77
49/78	♂	72
50/78	♀	84
51/78	♀	82
53/78	♀	81
55/78	♂	83
56/78	♂	76
58/78	♀	79
59/78	♀	89
60/78	♂	84
61/78	♂	71
62/78	♀	56
65/78	♀	63
66/78	♂	62
70/78	♀	74
72/78	♂	99

RC-Bild	Reihe	Leichennummer	Alter	Geschlecht	Zahnformel	Kieferwinkel	Kondylenabstand	Länge	Höhe
0	1+2	66/78	62	♂	37	135	10,5	7,0	4,5
0	3+4	4/78	76	♀	14, 13, 12, 11, 21, 22, 23 42, 33, 34	135	9,1	8,2	4,0
0	5+6	47/77	88	♂	unbezahnt	125	10,5	7,5	5,5
0	7+8	72/77	67	♀	unbezahnt	120	9,5	8,5	5,0
1	1+2	58/77	79	♂	17, 13 47, 44, 43, 41, 31, 33, 34, 35	100	10,5	9,0	7,5
1	3+4	46/77	70	♂	unbezahnt	122	10,5	8,2	5,8
1	5+6	12/78	83	♀	21, 25 45, 44, 43, 33, 34, 35	115	10,2	7,2	5,0
1	7+8	29/76	60	♂	14, 11, 22, 23 14, 11, 22, 23	125	10,5	8,2	4,0
2	1+2	65/78	63	♀	15, 14, 13, 12, 11, 21	115	9,5	7,5	5,0
2	3+4	60/77	83	♂	44, 43, 42, 41, 31, 32, 33, 34, 35 unbezahnt	130	10,3	7,5	5,2
2	5+6	9/78	92	♀	unbezahnt	120	10,5	7,8	5,2
2	7+8	50/77	86	♀	17, 15, 14, 13, 12, 11, 21, 22, 23 47, 46	125	----	7,5	4,0
3	1+2	2/78	74	♀	unbezahnt	130	10,0	6,8	4,8
3	3+4	59/77	78	♀	14, 13, 11, 23, 24, 26	125	12,0	7,0	5,2
3	5+6	76/77	70	♂	unbezahnt	120	----	7,5	5,3
3	7+8	34/78	58	♀	17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 23, 25, 27 43, 42, 41, 31, 32, 33, 34, 37	---	----	---	---
4	1+2	7/78	78	♀	21	---	----	---	---
4	3+4	63/77	92	♂	unbezahnt	115	8,5	9,5	6,0
4	5+6	6/78	78	♀	43, 42, 41, 32, 33, 34, 37 43, 42, 41, 32, 33, 34, 37	132	9,5	6,5	4,8
4	7+8	62/77	47	♂	17, 16, 15, 14, 13, 26, 27	125	9,5	8,5	4,7
5	1+2	29/78	76	♂	unbezahnt	120	10,5	8,0	5,0
5	3+4	77/77	74	♀	unbekannt	125	10,5	8,0	5,3
5	5+6	25/78	46	♂	13, 12, 11, 22, 23, 26, 27, 28 45, 44, 43, 42, 41, 31, 32, 33, 34	---	----	---	---
5	7+8	48/77	84	♂	unbezahnt	130	11,5	7,0	4,5
6	1+2	83/77	77	♂	33	132	11,2	7,3	4,3

6	3+4	33/78	68	♂	12,23 44,43,32	128	10,5	8,3	5,2
6	5+6	20/78	80	♀	unbezahnt	130	10,3	7,0	3,5
6	7+8	27/78	80	♀	45,44,43,42,41,31,32,33	135	10,5	7,6	4,5
7	1+2	45/78	86	♀	11,21 43,42,41,31,32,33,34	120	11,0	7,5	5,0
7	3+4	38/78	56	♂	13,12,23,24,26,27 44,43,42,41,31,32,33,36	120	10,8	8,0	6,0
7	5+6	23/78	66	♀	44,43,42,41,31,32,33,36 unbezahnt	130	7,5	9,5	4,5
7	7+8	46/78	77	♀	16,15,14,13,12,11,21,22,23,24 44,43,42,41,31,32,33,36,24	10	10,0	7,5	6,5
8	1+2	17/78	87	♂	unbezahnt	125	10,5	8,2	5,3
8	3+4	41/78	59	♂	13,12,11,21,22,23,24,25 43,42,41,31,32,33,34	123	11,0	7,8	5,2
8	5+6	82/77	85	♂	unbezahnt	139	10,6	8,2	3,8
8	7+8	70/77	67	♀	unbezahnt	130	11,0	8,0	5,5
9	1+2	80/77	72	♀	44,43,42,41,31,32,33	120	----	7,2	5,3
9	3+4	66/77	87	♂	33	128	11,0	8,0	4,5
9	5+6	72/78	99	♂	unbezahnt	127	9,5	7,0	5,0
9	7+8	15/78	75	♀	44,43,42,41,31,32,33	132	10,5	7,5	5,0
10	1+2	22/78	87	♀	unbezahnt	112	10,5	7,6	6,8
10	3+4	68/77	66	♂	14,23,25,26 45,44,43,42,41,31,32,33,133	36,37	10,0	8,5	6,0
10	5+6	67/77	68	♂	17,14,12,11,21,22,23,24 47,45,44,43,42,41,32,33,34	---	----	---	---
10	7+8	60/78	84	♂	unbezahnt	36,38,130	11,2	7,5	5,0
12	1+2	45/77	86	♀	18,16,15,14,13,12,11,21,22,23 47,46,45,44,43,42,41,31,32,134	30	----	9	---
12	3+4	64/77	80	♀	33,34 unbezahnt	35,36,134	10,5	7,3	4,6
12	5+6	16/78	69	♂	11,21,22,23	130	10,5	8,0	5,8
12	7+8	50/78	84	♀	17,26 45,43,33,36	---	----	---	---
13	1+2	74/77	67	♀	17,13,12,11,21,22,23,26 47,44,43,42,41,31,32,33,118	318	9,0	7,2	4,5
13	3+4	5/78	79	♀	45,43,42,41,31,32,33,35	---	----	---	---

Abb. Bild	Reihe	Leichennummer	Alter/Geschlecht	Zahnformel	Kieferwinkel	Kondylenabstand	Länge	Höhe
13	5+6	21/78	76	♂	43,42,41,31,32,33,34	124	10,5	7,6 4,8
13	7+8	56/78	76	♂	47,46,44,33,34,37	---	---	---
74	1+2	36/78	70	♂	21,27 47,45,44,43,42,41,31,32,33,34,35	---	---	---
74	3+4	61/77	83	♀	unbezahnt	116	9,5	7,2 5,7
74	5+6	31/78	59	♀	12,11,21,22,25,26,27 43,42,41,31,32,33,34	123	10,5	7,8 5,2
74	7+8	26/78	85	♂	46,45,44,43,42,41,31,33,35	---	---	---
75	1+2	52/77	68	♀	45,43,42,41,31,32,33,34	132	---	7,5 4,8
75	3+4	3/78	66	♂	45,44,43,42,41,31,33,33	128	10,6	8,0 5,4
75	5+6	62/78	56	♀	15,13,12,11,21,22,23,24 43,42,41,31,32,34,35	---	---	---
75	7+8	53/77	64	♂	11 44,41,31,32,33	128	10,5	8,4 4,5
76	1+2	58/78	79	♀	unbezahnt	127	9,5	7,5 5,2
76	3+4	65/77	76	♂	15,14,13,12,11,21,22,23,24 25,26,110	---	---	---
76	5+6	1/78	80	♀	46,45,44,43,42,41,31,32,33 34,35, unbezahnt	3618	---	8,5 6,0
76	7+8	71/77	86	♂	47,44,43,33	125	10,5	7,5 4,0
98	1+2	57/77	67	♂	unbezahnt	122	12,5	8,5 5,7
98	3+4	30/78	82	♀	unbezahnt	127	10,0	7,2 5,6
98	5+6	24/78	54	♂	16,12,11,21,22,23,25,27 48,47,46,45,44,43,42,41,31,32,33,34,35	118	10,2	7,5 5,0
99	1+2	70/78	74	♀	43,42,41,31	125	10,5	8,2 6,0
99	3+4	56/77	67	♀	13,23	115	10,5	7,5 5,5
99	5+6	75/77	75	♂	44,43,42,41,31,32,33,34 unbezahnt	134	11,3	8,0 5,5
							8,4	5,5

Tab.: 2 Aussenabmessungen und Bezahnung der untersuchten Unterkiefer. (Die Leichennummer entspricht den Bezeichnungen der Tabelle I; die Angaben unter Rö-Bild und Reihe sind interne Verschlüsselungen zum Auffinden des zugehörigen Röntgenbildes - siehe Abschnitt E I!)

C II. Klassifikation der untersuchten Unterkiefer

Die Mandibeln und die Maxillae wurden nach ihrem Zahnbestand untersucht und anhand einer Zahnformel registriert (Tabellen 1,2). Dabei erschien eine Klassifikation in voll-, front- und unbezahn- te Unterkiefer sinnvoll, da sich nach der Theorie der funktionel- len Anpassung das Gefüge der Unterkieferspongiosa und -kompakta ändern muß. (Je nach Zahnbestand verändern sich in vivo die Ma- stikationseigenschaften und damit die physiologischen Reize für den Knochenumbau).

Als vollbezahnte Unterkiefer wurden diejenigen Unterkiefer ge- wertet, die sowohl im Front- wie auch im Seitenzahngebiet Zähne aufwiesen, und damit möglichst die volle Wertigkeit der Stütz- zonen nach Eichner repräsentierten.

Sicherlich sind die Spongiosastrukturen zumindest was den Alveo- larfortsatz anbetrifft bei lückenhafter Bezahnung von denen ei- nes vollbezahnten Kiefers verschieden, dennoch kann man bei vol- ler Stützzonenzahl nach Eichner von Belastungsverhältnissen aus- gehen, die einem vollbezahnten Kiefer weitgehend entsprechen.

Nach Steinhard und Eichner (zit. nach Körber (1975)) ist der Un- terkiefer während des biostatistischen Gleichgewichtszustandes ge- gen den Oberkiefer gleichmäßig abgestützt.

Biostatik ist definiert durch:

1. Kontakt der Kauflächen
2. Harmonisch- symmetrische Muskeltätigkeit
3. Gleichzeitige und gleichmäßige Belastung der Parodontien
4. Übertragung der Kraft auf die Skelettbasis
5. Symmetrisch - funktionell angepaßten Zustand

Prämolaren und Molaren bilden in sagittaler Richtung eine Reihe hintereinander angeordneter Stützzonen.

(Von Stützzonen spricht man auch schon, wenn nur in den vier Eckbereichen eindeutig definierter Okklusions-Kontakt vorhanden ist.)

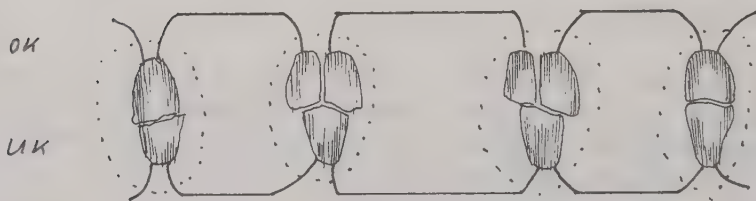


Abb. 5: Panoramadarstellung der vier Stützzonen im reduzierten Kausystem mit Einzelzähnen und Restzahngruppen nach Eichner.

Frontbezahnte Unterkiefer waren nur im Frontzahnbereich von 33-43, und im Prämolarenbereich bis max. 35-45 bezahnt, d.h. 2 Stützzonen nach Eichner.

Zahnlose Unterkiefer waren total unbezahnt. Hier hatte man eine große Auswahl, da die meisten der untersuchten Leichen unbezahnt war.

Eine Klassifikation nach Zahnersatzträgern konnte nicht getroffen werden, da hierfür keine entsprechenden Angaben vorlagen.

C III. Schnittführung

Bei der Wahl der Schnittstelle zur Auswertung der Mandibeln wurde auf die Erfahrung anderer Autoren zurückgegriffen. Dabei dienten nur Arbeiten als Richtlinie, in denen Unterkiefer transversal bzw. in der Front sagittal geschnitten wurden. Ein sagittaler Schnittverlauf im Seitenzahnbereich erschien unzweckmäßig. Bei der sagittalen Schnittführung wird das Knochenmaterial der Mandibula einer zu großen Zerstörung ausgesetzt, wichtige Stellen am Präparat, vor allem im buccalen und lingualem Bereich werden zu wenig aussagekräftig dargestellt.

Eine transversale Schnittführung hat den Vorteil, daß die Präparate eine Aussage über deren gesamten Querschnitt zulassen, und bei Berücksichtigung der funktionellen Struktur d.h. beim Vergleich der Belastungsverteilung eine direkte Zuordnung von Material und Beanspruchungsverteilung möglich ist. So wurden die Unterkiefer nur orthogonal zur Biegemomentennulllinie geschnitten.

Die Schnittführungen schematisch dargestellt zeigt Abbildung 6.



Abb. 6: Lokalisation der untersuchten Schnitte.

- a) je Kieferhälfte ein Schnitt in der mentalen Region, Regio 31/41 an der Symphyse.
- b) je ein Schnitt pro Kieferhälfte in Regio 32/33 und Regio 42/43,
- c) zwei Schnitte in Regio 34/35 und Regio 44/45 mit Darstellung der Nervenaustrittspunkte des n. alv. inferior am foramen mentale,
- d) je ein Schnitt pro Mandibelhälfte in der Molarenregion in Regio 36/37 und Regio 46/47,
- e) bei vollbezahnten Unterkiefern je ein Schnitt pro Kieferhälfte im Alveolarkamm der Region 36/46,
- f) zwei Schnitte pro Kieferhälfte im Kieferwinkel.

Die in c) und d) aufgeführten Schnitte beinhalten die Stützzonen nach Eichner. Nach dessen Formulierung gibt es vier Stützzonen, auf jeder Kieferseite zwei, die eine zwischen den Prämolaren des Ober- und Unterkiefers und die andere zwischen den Molaren 16, 17 bzw. 46, 47.

Ebenfalls wurde die Frakturhäufigkeit nach Jobst-Wilkens (1974) u.a. bei der Gestaltung der Schnittführung berücksichtigt, deren Häufigkeit prozentual gesehen folgende Statistik aufweist:

31,9 % Molarenregion und

23,4 % Prämolarenregion und Eckzahnregion.

Überdies lag bei Collumfrakturen, die mit zusätzlicher Fraktur im vertikalen Ast des Unterkiefers zusammenfielen, der Bruchverlauf ebenfalls in der Prämolarenregion auf der kontralateralen Seite. Bei der Schnittführung im Kieferwinkelbereich interessierte hauptsächlich, daß hier die größten Belastungen (Küppers 1971) beim Kauakt auftreten.

Vor der Zerlegung der Unterkiefer wurde zur Reproduktion der Achse cranial-caudal, wie im Kapitel C VI ausführlich dargestellt, die jeweils zusammengehörigen Mandibelhälften zusammen-

gefügt, und auf einer Glasplatte mit einer halbelastischen Masse fixiert. (s. Abb. 6).

Die 142 Mandibelhälften wurden nun auf einer Bandsäge mit einem eigens konstruierten stufenlosen Anschlag nach der schon erwähnten Einteilung zerlegt. Alle Schnitte wiesen eine Stärke von 2,8 mm auf. Um die durch den Sägevorgang ausgefranzten Ränder der Schnittstellen zu glätten, wurden diese oberflächlich entfettet und in einem für diesen Vorgang angefertigten Block mittels groben und feinen Sandpapiers auf eine Dicke von 2,5 mm ($\pm 0,1$ mm) ausgeglichen und mit einer Schublehre überprüft.

Die so genormten Präparate konnten dann anschließend vom Knochenmehl gereinigt auf Röntgenbildern mittels der halbelastischen Masse fixiert und beschriftet werden.

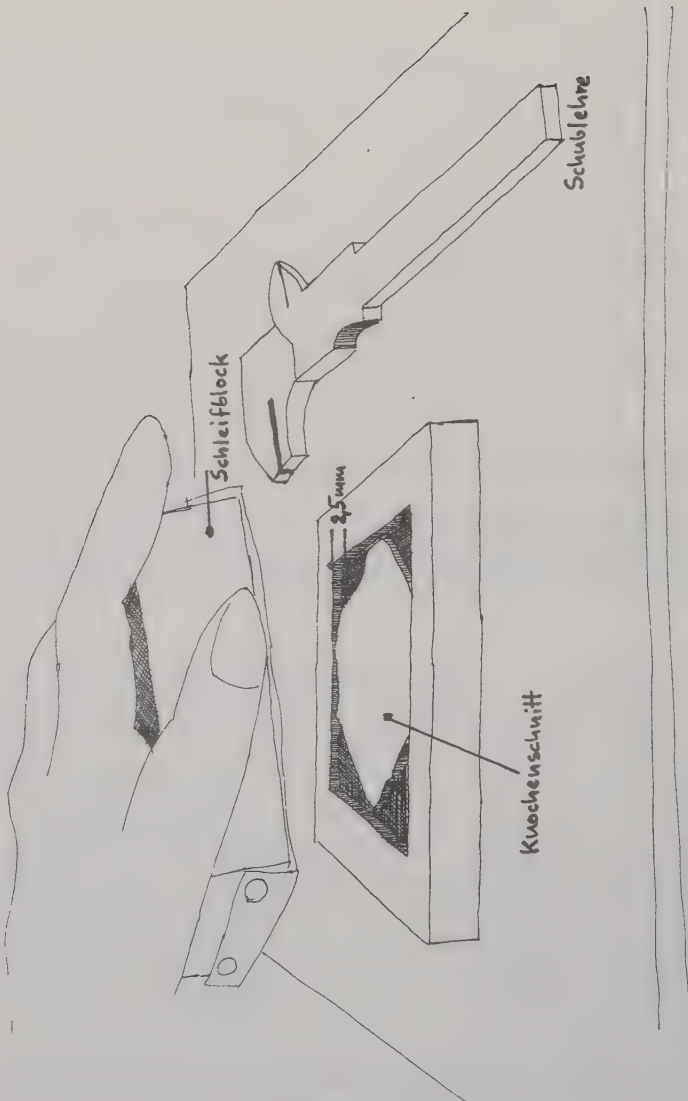


Abb. 7: Vorgehensweise zur Nivellierung gleicher Schnittdicken.

C IV. Methoden zur Auswertung von Unterkieferschnitten

In der Literatur finden sich eine große Anzahl von Untersuchungsmethoden, mit deren Hilfe man die Struktur der Spongiosa und der Kompakta analysierte.

H.v. Meyers (1882) zersägte den Knochen in seiner Längsrichtung, betrachtete die Spongiosa in der Aufsicht und ließ von der Oberfläche Zeichnungen anfertigen. Durch diese einfache Methode wurden grundlegende Erkenntnisse über die Architektur der Spongiosa gewonnen.

J. Wolff (1892) führte in die Methodik den Fournierschnitt ein. Der zu untersuchende Knochen wurde auf einer mechanischen Säge in möglichst dünne Blätter (1-2 mm) zersägt, die auch wieder in der Aufsicht betrachtet oder auf schwarzem Samt gelegt, bei auffallendem Licht photographiert wurden.

Toldt (1904) verzichtet auf die Fournierschnittmethode, weil diese bei Längsschnitten der gekrümmten Oberfläche der Kompakta nicht Rechnung trägt, und entfernt mit Hammer und Meisel die Kompakta, um auf diese Weise einen Gesamtüberblick über die Anordnung der Trajektorien zu gewinnen. Jedoch ist so bei dem oft fließenden Übergang von Kompakta zu Spongiosa eine genaue Präparation fast unmöglich. Man hat auch versucht mit dem Mikroskop die Strukturverhältnisse zu klären. Es ist aber auch damit eine ausreichende Darstellung ebensowenig möglich, weil bei der Fournierschnittmethode die Herstellung der Präparate - hier der Knochenschliffe - einen großen Substanzverlust bedingt. Ein übersichtliches Bild könnte nur durch Serienschnitte gewonnen werden, die räumlich den natürlichen Verhältnissen entsprechend betrachtet und sinngemäß rekonstruiert werden müßten. Entkalkung, Herstellung der Schnitte und deren Rekonstruktion sind eine so mühevolle Arbeit, daß damit keine Untersuchungen einer großen Zahl

an Mandibeln möglich sind.

Die bisher erwähnten Schnittmethoden erlauben zwar einen Einblick in den Aufbau des Knochens, eine Erfassung seines Architekturbildes und deren Vergleich mit anderen Schnitten an gleicher Stelle ist mit dieser oberflächlichen Betrachtungsart aber nicht möglich.

Da in dieser Arbeit aus verschiedenen Transversalschnitten ähnlicher Unterkiefer ein durchschnittlicher Spongiosaverlauf ermittelt werden soll, müßte die Schnittführung exakt an den gleichen Stellen des Unterkiefers liegen.

Nehmen wir nun an, man kann mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5$ mm die einzelnen Schnittstellen reproduzieren und vernachlässigt man die durch das Sägen unvermeidbare Läsion und den Substanzverlust, so ergeben sich Schnitte, die sicherlich über $\pm 0,5$ mm variieren.

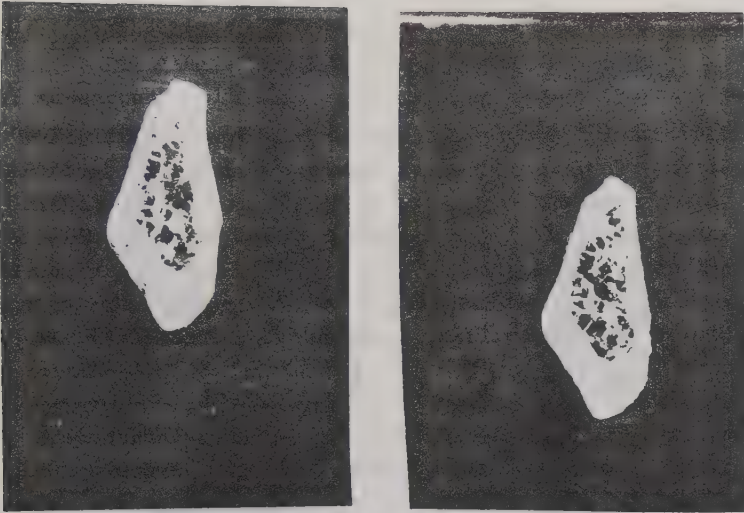


Abb. 8: Photographischer Vergleich eines Unterkiefertransversalschnittes vor (links) und nach (rechts) Abtragung von 0,5 mm Schnittdicke.

Die Abbildung zeigt einen Transversalschnitt im Auflicht photographiert, und daneben denselben Schnitt nach Abtragung von 0,5 mm Knochenstärke. Deutlich ist das Verschwinden markanter und das Hervortreten neuer Strukturen zu erkennen.

Die dazugehörigen Röntgenbilder zeigt die Abbildung, wobei der Unterschied weniger deutlich als bei den Photographien hervortritt.



Abb. 9: Röntgenologischer Vergleich eines Unterkiefertransversalschnittes vor (links) und nach (rechts) Abtragung von 0,5 mm Schnittdicke.

C V. Die Röntgenmethode

I. Wolff (1900) sagt über die Röntgenmethode im Vergleich zur makroskopischen Betrachtungsweise: Die Durchstrahlung der Fournierblätter hat ergeben, daß man auf den Röntgenbildern viel mehr sieht, als an den Fournierblättern selbst. Es tritt eine Klärung dichter Spongiosapartien, stärkeres Hervortreten der Hauptbälkchen und eine Abschwächung der Nebenbälkchen ein, so daß die Trajektorienordnung noch deutlicher und überzeugender erscheint.

Die ersten Röntgenaufnahmen zur Erforschung feinerer, innerer Gesichtsknochenstrukturen, welche in Beziehung zur Funktion des Gewebes gebracht werden, sind von Walkhoff (1898) gemacht worden.

Wolff (1900) stellte Röntgenbilder von Fournierschnitten her, ähnlich wie sie in dieser Arbeit auch angewandt werden.

Viele Arbeiten beschäftigten sich in der Folgezeit mit dem Unterkiefer, wobei unterschiedliche Schnitte, Horizontal-, Sagittal-, und Transversalschnitte, betrachtet wurden.

Der Übergang von der Kompakta zur Spongiosa wurde untersucht und Braunschweiger (1922) zeigte, daß die Kompakta die Zeichnung, die der Spongiosa eigen ist, nicht beeinflußt.

Bei Transversalschnitten im Seitenzahnbereich des Unterkiefers, die in Sagittalschnitte in der Front übergehen, tritt eine Störung durch die Kompakta nicht auf.

Dem obigem Zitat von Wolff ist noch hinzuzufügen, daß bei der Integration über eine gewisse Schichtdicke, eben bei der Klärung der scheinbar verwirrenden Spongiosastruktur, die in Richtung der Röntgenstrahlen verlaufenden Spongiosaanteile wegprojiziert

werden.

Im folgenden wird unter dem Verlauf der Winkel der Spongiosastruktur immer ihre Projektion auf die Schnittebene verstanden.

Die untersuchten Schnitte haben eine Dicke von $2,5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$. Die Schnittrichtung ist senkrecht zur Kompaktaoberfläche.

Die gewaschenen, entfetteten und in ihrer Richtung gekennzeichneten Stücke (s. Kap. C VI) wurden alle auf mehreren Filmplatten (Super Dozahn DuPont 24/9,7) gelegt und mit Bleibuchstaben nummeriert. Die Belichtung erfolgte bei einem möglichst großen Abstand (110 cm) mit einer Röntgenröhre DIAX-E 85. Die optimale Belichtungszeit für die Aufnahmen betrug 0,4 sec. bei einer Röhrenspannung von 65 kv. Diese Daten wurden in Vorversuchen ermittelt. Der Abstand mußte möglichst groß gewählt werden, damit durch möglichst parallelen Röntgenstrahlenverlauf ein Verprojizieren vermieden wurde.

Die Entwicklung erfolgte maschinell mit einem Entwicklungsautomaten (Siemens) und gewährleistete gleiche Entwicklungsbedingungen für alle Filme.

C VI. Bezugsachse zur Messung der Winkel der Spongiosaelemente

Zur Auswertung soll ein Bezugssystem verwendet werden, das unabhängig von der komplexen Form der Oberfläche der Kompakta, jederzeit für jeden Kiefer - sogar in vivo - reproduzierbar ist. Gefordert wird eine cranial-caudale Achse zu der dann der Winkel der Spongiosaelemente in gewissen Bereichen ausgewertet werden soll.

Zur Bestimmung der Achse wurde vor der Zerlegung der Unterkiefer in die geforderte Transversal- und Sagittalschnitte die beiden Mandibelhälften zusammengefügt, auf eine Ebene gestellt und bis zur Hälfte in eine halbelastische Masse eingebettet. (siehe Abbildung 6).

Der Unterkiefer wurde zerlegt und die fertig aufbereiteten Schnitte zurück an ihre Stelle in Silikonkautschuk gestellt. Jetzt war es möglich die zur Glasplatte senkrechte Achse auf den Schnitt anzuzeichnen. Entsprechend dieser Achse wurden die Schnitte auf den Röntgenfilm angeordnet und dessen senkrechte Kante entspricht so der cranio-caudalen Achse und wird bei Vermessung der Winkel der Spongiosaelemente als Bezugslinie genommen. Die Richtung des Zentralstrahls ist mit der Biegemomenten-nullinie des Unterkiefers identisch. (siehe Abb. 11).

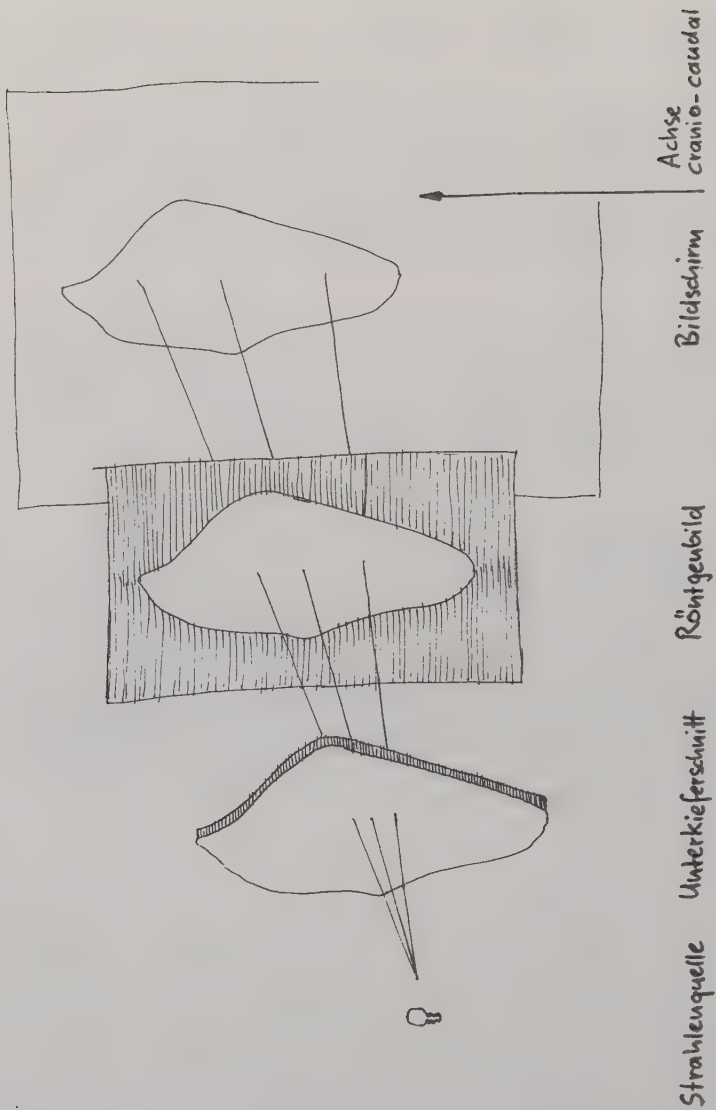


Abb. 10: Schema der richtungsspezifischen Auswertung der Spongiosaverläufe.

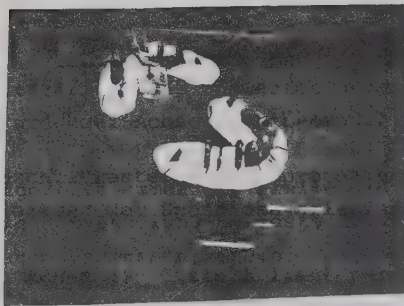




Abb. 11: a - e

Vorgehensweise zur Reproduzierbarkeit der Achse
cranio-caudal

C VII. Aufteilung der Röntgenbilder in Messbereiche und Methode der Winkelmessung

Zur Auswertung der Röntgenbilder wurde ein Gitternetz verwendet.

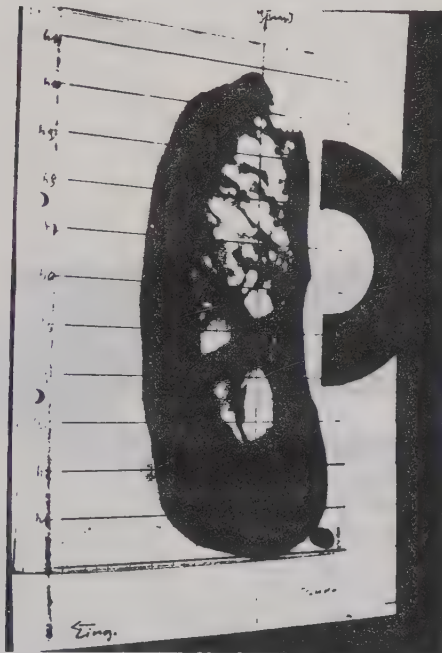


Abb. 12: Bildschirmraster mit aufprojiziertem Röntgenbild zur Auswertung der Spongiosaverlaufsrichtung

Die senkrechte Achse des Gitters liegt parallel der cranio-caudal Achse und geht in den Fällen, in denen ein Mandibularkanal zu sehen war, durch diesen hindurch. In den anderen Fällen, wird sie so gelegt, daß sie die Spongiosaräume aufteilt.

Durch die Aufteilung der Bilder mit Hilfe von 12 Höhenlinien (h_0 bis h_{11}) ergibt sich eine Unterteilung in je 11 Flächensegmente ($A_1 - A_{11}$) vestibulär und lingual. Der durchschnittliche Verlauf der Spongiosaelemente in diesen 22 Feldern wird durch eine Ersatzlinie bestimmt, und ihr Winkel zur cranio-caudalen Achse gemessen und registriert.

In Abbildung 13 wird dieser Vorgang anhand eines Feldes dargestellt.

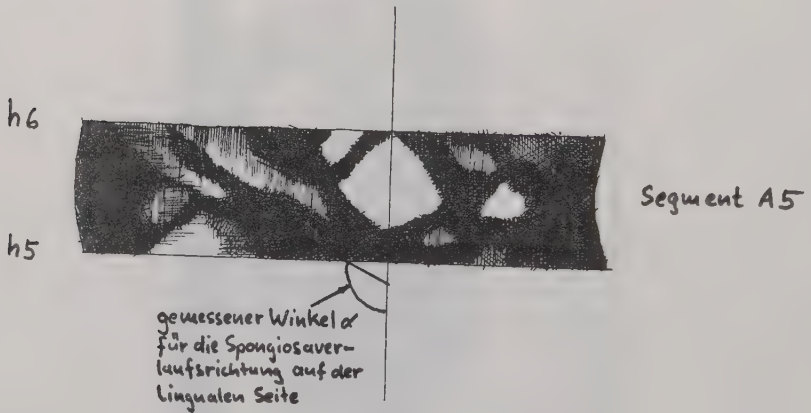


Abb. 13: Segmentales Vorgehen zur Bestimmung der Spongiosaverlaufsrichtung am Beispiel des Segmentes 5 aus Abbildung 12 (h_5 - h_6).

Die grobe Vororientierung muß keineswegs eingehalten werden.

Da der Winkel des Spongiosaverlaufes vestibulär und lingual in der Nähe der Innenfläche der Kompakta vermessen werden soll, kann es vorkommen - dies wurde in Abb. 13 schematisch dargestellt - daß das Gitter bei der Auswertung verschoben werden muß.

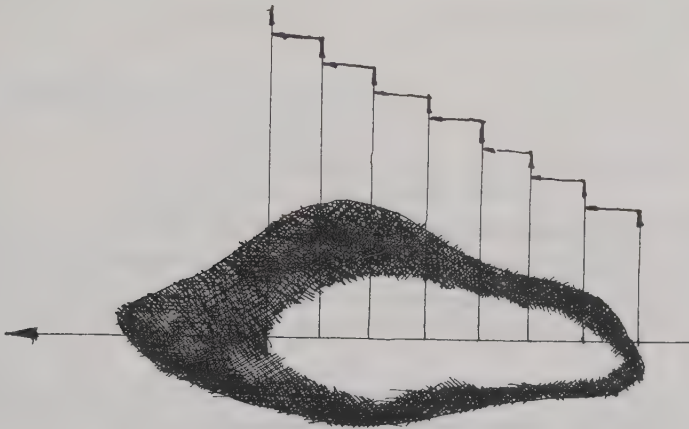


Abb. 14: Segmentspezifisches Auswerten unter ständiger Berücksichtigung der Achse cranio-caudal.

In obiger Abbildung ist durch die Pfeile die Lage der cranio-caudalen Achse in der Stellung dargestellt, in der die zugehörigen Flächensegmente vermessen wurden.

Da die Originalgröße der Bilder für eine Auswertung zu klein und die verschiedenen Höhen der Schnitte jedesmal ein neues Gitter erfordert hätte, wurde wie folgt verfahren:

Zunächst wurden die Röntgenbilder so im Diarahmen justiert, daß die cranio-caudale Achse parallel zum senkrechten Rande des Diarahmen verlief. Zusätzlich wurde die Achse im Bereich des Projektionsfeldes eingezeichnet, um eine zweite Kontrolle zu ermöglichen.

Zur Vermessung wurden die Dias auf einen Schirm projiziert, der die Einteilung in die oben beschriebenen Felder enthielt, und dessen Gesamthöhe $h_0 - h_{11} = 22$ cm betrug.

Der Abstand Projektor - Schirm konnte nun so verändert werden, daß jeder Schnitt sich auf die gleiche Höhe erstreckte. Damit war für alle Dias die selbe relative Einteilung sichergestellt.

D Tabellarische Meßergebnisse der röntgenologisch untersuchten
Unterkieferschnitte

Nach der röntgenologischen Erfassung aller 71 Unterkiefer wurden für jede Klasse (siehe C II), also bezahnt, unbezahnt und front-bezahnt sechs Unterkieferhälften zur Auswertung herangezogen.

Für jede Unterkieferhälfte mit im Durchschnitt sechs Bildern waren 120 Winkelmessungen nötig. Bei 18 Unterkiefer ergab dies eine Liste mit 2160 Winkeln die

1. den Unterkiefer
2. den Schnitt und
3. der Höhe nach zuzuordnen waren,
4. die Anzahl der einstrahlenden Spongiosaelemente,
nach lingual und vestibulär getrennt.

Die folgenden Tabellen fassen diese Meßergebnisse zusammen.

Zum besseren Verständnis werden kurz die verwendeten Abkürzungen am Beispiel eines vollbezahnten Unterkiefers erläutert.

Beispiel:

0.7.8r	67	♀	72/77									
1 ling	-	90	120	135	116	28	60	67	114	128	-	23
vest	-	46	84	26	131	105	115	130	134	128	-	26

Erläuterungen:

0.7.8r: Röntgenbildnummer 0;
Reihe 7 und 8
rechte Unterkieferhälfte;

67 ♀ 72/77: 67 Jahre;
♀ weiblich;
72. Leiche
1977 +

1 ling: Schnitt Nummer 1

ling., vest. = lingual, vestibulär;

Die folgenden elf Zahlen geben die Größe der gemessenen Winkel in den 11 Segmenten an; die letzte Zahl entspricht der Menge der einstrahlenden Spongiosateilchen.

Als weitere Abkürzungen kommen vor;

A für Alveole;

f.m. für Foramen mentale;

z für Zahn oder Wurzelreste;

Mk für Mandibularkanal;

- keine Spongiosaelemente (Kompakta, f.m., etc.)

vollbezahnte:

1.1.2.r	79	♂	58/77										
1 ling	-	-	128	117	98	112	110	118	116	124	-	27	
vest	-	58	75	72	76	111	150	122	A	A	A	27	
2 ling	-	101	78	104	113	120	112	110	122	-	-	27	
vest	-	53	115	82	28	50	62	58	A	A	-	23	
3 ling	-	60	MK	63	92	103	86	102	85	87	-	24	
vest	-	48	90	60	f.m.	48	37	62	60	53	85	24	
4 ling	-	58	70	60	68	47	80	47	48	63	90	25	
vest	-	25	82	90	92	108	112	140	-	-	-	17	
5 ling	-	75	102	108	65	72	82	85	92	108	136	27	
vest	-	165	103	90	100	77	72	58	60	-	-	20	
6 ling	60	42	78	90	82	85	120	118	124	92	-	17	
vest	60	62	80	85	63	48	42	44	42	38	32	15	

vollbezahnte:

13.1.2.r 67 ♀ 74/77

1 ling	70	82	120	128	137	134	118	97	94	126	122	34
vest	45	72	75	70	114	58	75	82	69	z	z	32

2 ling	-	-	64	55	92	114	117	112	120	126	132	27
vest	-	-	68	79	94	113	50	48	68	25	117	26

3 ling	-	-	66	123	122	132	108	110	115	82	103	28
vest	-	-	21	50	92	88	92	114	111	103	-	32

4 ling	-	68	64	108	124	136	110	85	122	114	-	27
vest	-	82	88	118	78	75	90	107	92	z	z	29

5 ling	-	85	75	107	105	92	68	88	104	75	-	33
vest	-	37	16	75	65	128	152	MK	133	-	-	35

6 ling	30	45	55	122	100	40	140	92	z	z	z	13
vest	150	125	118	121	75	114	103	140	145	50	85	12

4.5.6.L 78 ♀ 6/78

1 ling	108	112	85	92	126	130	118	85	108	120	136	35
vest	112	93	82	68	85	52	139	48	92	28	A	37

2 ling	-	125	118	135	120	130	115	108	118	120	-	37
vest	-	111	118	85	106	65	58	45	50	45	90	35

3 ling	-	132	135	135	125	120	60	120	95	128	90	29
vest	-	48	52	28	128	f.m.	58	44	60	8	50	27

4 ling	-	46	90	95	90	112	108	72	103	45	-	32
vest	-	20	38	70	92	165	145	112	-	-	-	30

5 ling	-	52	67	88	92	50	z	z	z	z	z	32
vest	-	28	60	104	90	55	z	z	z	z	z	23

6 ling	122	113	104	90	97	60	70	82	92	92	-	27
vest	54	57	92	140	158	120	112	70	108	92	-	25

vollbezahnte:

7.3.4.L 56		♂ 38/78										
1 ling	50	65	106	107	105	126	119	110	117	110	z	43
vest	30	70	85	60	104	112	126	71	z	z	z	42
2 ling	-	-	54	69	80	111	114	119	113	115	A	36
vest	-	-	85	108	118	122	83	60	58	A	A	38
3 ling	-	-	-	76	85	111	115	112	120	115	125	40
vest	-	-	-	57	f.m.	50	68	74	58	65	60	36
4 ling	-	-	45	65	85	82	115	118	122	128	130	38
vest	-	-	45	52	58	85	92	115	125	50	-	42
5 ling	-	-	130	132	128	85	92	92	102	108	111	38
vest	-	-	45	65	85	92	115	117	45	65	-	42
6 ling	36	45	57	62	80	95	120	125	130	-	-	23
vest	150	148	156	140	120	-15	45	47	60	-	-	22
13.1.2.L 67		♀ 74/77										
1 ling	-	-	45	82	100	105	108	115	120	125	130	38
vest	-	135	125	85	45	60	82	95	62	70	40	40
2 ling	-	125	130	132	128	115	120	100	85	92	58	35
vest	-	130	45	50	47	80	50	47	48	130	125	37
3 ling	-	85	130	60	80	85	118	120	125	130	125	38
vest	-	85	120	70	45	35	40	35	38	50	48	32
4 ling	-	60	76	78	85	55	67	115	105	112	A	32
vest	-	126	98	92	160	89	95	62	65	A	A	27
5 ling	-	55	134	95	90	72	88	63	52	A	A	38
vest	-	45	105	95	99	45	50	52	A	A	A	35
6 ling	-	50	60	50	65	65	90	105	95	90	-	22
vest	-	78	102	90	70	60	52	63	82	-	-	20

vollbezahnte:

10.3.4.L	66	♂ 68/77										
1 ling	-	115	125	111	130	125	110	130	90	A	A	45
vest	-	45	125	128	90	70	55	40	80	A	A	42
2 ling	65	70	70	75	80	92	95	92	A	A	A	42
vest	45	110	110	122	70	118	92	65	A	A	-	38
3 ling	-	-	70	65	60	56	97	107	A	A	A	40
vest	-	67	127	130	106	f.m.	45	52	A	A	-	38
4 ling	-	52	75	55	60	74	90	95	66	72	160	38
vest	-	63	138	55	118	132	92	52	112	132	140	35
5 ling	-	45	78	53	85	90	54	63	60	50	-	42
vest	-	40	135	42	53	81	90	73	90	112	120	38
6 ling	45	65	92	85	107	92	73	-	-	-	-	17
vest	138	115	105	90	95	140	150	-	-	-	-	17

frontbezahnte:

1.7.8.L 60 ♂ 29/76

1 ling	-	40	55	60	142	138	144	150	152	149	150	33
vest	-	70	94	112	124	127	87	64	50	10	-	40

2 ling	66	56	45	144	125	131	132	142	145	150	-	35
vest	45	120	125	68	55	56	46	84	40	24	-	38

3 ling	-	128	132	114	116	90	88	90	88	84	-	29
vest	-	78	82	102	100	90	f.m.	56	104	96	-	30

4 ling	-	100	107	92	100	80	94	90	102	110	55	33
vest	-	85	104	121	112	124	115	132	130	120	-	35

6 ling	-	48	64	53	88	92	87	60	112	120	-	35
vest	-	128	138	126	135	90	90	-	-	-	-	27

0.3.4.r 76 ♀ 4/78

1 ling	-	120	103	132	82	92	88	78	104	64	-	25
vest	-	60	85	110	49	54	80	88	98	110	-	24

2 ling	-	118	126	105	115	117	93	92	104	115	-	30
vest	-	66	128	110	98	80	72	70	65	75	-	28

3 ling	-	42	136	138	92	125	129	103	115	125	-	40
vest	-	67	52	62	124	f.m.	53	92	59	85	-	36

4 ling	-	82	94	115	114	79	95	90	88	112	-	23
vest	-	140	141	138	136	130	105	125	123	112	-	24

6 ling	-	64	76	60	92	88	72	92	-	-	-	18
vest	-	58	130	116	88	90	104	78	84	88	-	15

frontbezahnte:

99.3.4.r 67 ♀ 56/77

1 ling	-	103	115	112	131	120	90	97	162	120	-	34
vest	-	127	110	100	95	97	93	128	101	95	-	32
2 ling	-	125	132	70	125	113	104	112	83	81	94	32
vest	-	138	107	52	73	103	58	70	35	52	123	32
3 ling	-	142	145	62	80	95	92	85	82	65	-	32
vest	-	123	116	92	f.m.	104	110	114	120	114	-	30
4 ling	-	73	82	140	MK	92	85	97	116	105	79	27
vest	-	42	67	76	84	86	112	114	121	129	54	24
6 ling	132	136	135	144	110	63	90	78	85	80	76	16
vest	48	65	95	123	88	133	103	70	118	-	-	18

8.3.4.r 59 ♂ 41/78

1 ling	-	55	98	122	120	74	128	119	113	117	104	25
vest	-	115	58	69	112	54	64	45	35	64	-	24
2 ling	-	73	60	80	121	104	113	98	122	121	z	33
vest	-	125	140	112	70	111	82	48	35	42	z	35
3 ling	-	62	74	84	92	107	100	95	102	123	153	39
vest	-	120	88	108	f.m.	108	92	112	90	102	-	34
4 ling	-	115	102	100	92	107	92	95	103	75	128	30
vest	-	130	138	146	158	88	90	67	92	76	70	26
6 ling	-	135	93	163	145	136	132	144	-	-	-	20
vest	-	48	44	48	62	53	MK	63	48	-	-	18

frontbezahnte:

7.1.2.L	86	♀	45/78										
1 ling	-	48	76	98	120	128	117	98	58	74	90	25	
vest	-	52	104	38	34	114	88	89	70	A	A	29	
2 ling	-	57	76	113	169	90	z	z	z	z	z	20	
vest	-	78	55	111	78	104	z	z	z	z	z	16	
3 ling	-	73	122	125	92	86	112	124	132	134	65	25	
vest	-	109	63	f.m.	66	56	42	97	110	114	136	28	
4 ling	-	45	68	MK	49	69	73	94	106	112	-	28	
vest	-	61	132	135	70	92	117	124	122	138	-	24	
6 ling	-	70	52	MK	70	90	74	94	77	120	-	26	
vest	-	112	122	111	118	122	126	80	103	88	-	24	
6.3.4.r	68	♂	33/78										
1 ling	-	-	43	49	118	131	126	130	137	154	-	35	
vest	-	50	55	62	86	92	112	131	134	164	-	40	
2 ling	-	80	131	77	105	135	130	127	120	129	-	30	
vest	-	54	110	42	35	24	90	45	69	89	-	28	
3 ling	-	54	41	72	90	95	97	108	129	152	-	25	
vest	-	76	28	78	84	102	113	124	131	134	-	25	
4 ling	-	38	48	85	98	112	130	142	146	142	-	27	
vest	-	29	45	75	88	89	98	117	128	125	-	22	
6 ling	-	74	95	118	53	70	34	48	139	141	60	23	
vest	-	75	80	70	95	134	122	38	34	51	54	16	

unbezahnte:

0.7.8.r 67 ♀ 72/77

1 ling	-	90	120	135	116	28	60	67	114	128	-	23
vest	-	46	84	26	131	105	115	130	134	128	-	26
2 ling	-	-	48	40	53	63	127	132	130	113	-	21
vest	-	48	74	86	64	84	88	90	134	43	-	24
3 ling	-	48	88	100	140	62	77	90	112	130	123	23
vest	-	23	120	143	143	100	90	123	185	113	50	26
4 ling	35	45	73	90	75	85	55	47	130	135	-	25
vest	30	105	65	64	90	135	143	145	148	170	130	28
6 ling	47	50	90	60	75	53	82	132	45	140	48	22
vest	112	133	145	140	85	52	68	85	100	118	-	26

6.5.6.r 80 ♀ 20/78

1 ling	-	58	69	80	110	112	62	68	64	65	-	25
vest	-	131	85	135	137	158	147	156	152	134	-	28
2 ling	-	48	40	139	135	137	120	90	90	95	-	25
vest	-	50	130	138	145	152	150	130	90	90	-	28
3 ling	-	110	108	115	132	90	64	58	125	112	-	22
vest	-	105	100	123	112	119	90	83	85	85	-	22
4 ling	-	90	85	72	92	90	90	103	108	58	-	28
vest	-	85	110	86	68	70	87	111	118	129	-	20
6 ling	-	58	60	132	130	137	131	72	68	85	-	15
vest	-	61	85	70	106	128	125	95	111	124	127	15

unbezahnte:

5.7.8	84	♂	48/77									
1 ling	-	50	65	60	122	125	120	120	110	118	-	20
vest	-	80	103	110	76	109	112	124	120	138	135	22
2 ling	-	36	45	58	131	137	134	138	140	147	-	23
vest	-	135	146	131	50	52	56	68	90	148	-	22
3 ling	-	41	72	90	75	95	110	50	135	145	-	14
vest	-	-	45	105	90	135	130	90	47	135	-	13
4 ling	-	136	58	60	90	110	85	115	95	130	-	19
vest	-	46	45	50	85	95	128	110	125	162	-	22
6 ling	-	46	50	80	85	90	85	110	136	95	-	14
vest	-	45	50	62	120	90	95	85	85	85	-	12
12.3.4.r	80	♀	64/77									
1 ling	-	65	95	125	93	125	120	110	100	102	-	31
vest	-	60	68	128	95	90	108	95	100	98	-	32
2 ling	-	46	140	140	145	140	125	136	130	129	-	27
vest	-	80	77	87	90	92	82	80	60	65	-	23
3 ling	-	47	140	114	112	121	95	110	92	128	-	20
vest	-	50	54	85	92	90	f.m.	100	80	68	-	19
4 ling	-	44	62	56	97	84	79	74	81	104	-	20
vest	-	36	65	115	90	80	118	138	135	89	-	17
6 ling	-	58	54	77	102	124	MK	90	95	80	90	19
vest	-	61	104	100	108	104	87	79	100	84	-	22

unbezahnte:

8.7.8.r	67	♀	70/77										
1 ling	-	70	120	130	130	135	145	135	142	136	-	20	
vest	-	45	135	138	90	52	64	68	118	110	-	23	
2 ling	-	53	112	110	144	146	158	160	157	141	-	24	
vest	-	35	66	80	96	90	108	122	39	128	-	23	
3 ling	-	50	48	140	90	130	132	130	-	142	-	18	
vest	-	40	50	70	86	60	127	f.m.	110	50	-	16	
4 ling	-	45	50	90	72	88	160	25	68	-	-	13	
vest	-	50	70	76	72	93	85	50	60	-	-	13	
6 ling	-	47	100	104	120	25	121	130	118	-	-	11	
vest	-	40	76	75	120	90	90	75	-	-	-	12	
4.7.8.r	47	♂	62/77										
1 ling	-	90	95	112	128	120	125	137	108	92	135	22	
vest	-	130	165	90	108	75	132	162	95	70	120	20	
2 ling	-	44	50	57	54	90	144	132	137	143	145	23	
vest	-	151	160	40	90	68	53	80	65	67	60	24	
3 ling	-	38	58	42	34	48	144	140	128	143	148	24	
vest	-	43	39	65	76	85	43	70	50	78	85	20	
4 ling	-	50	47	90	98	102	95	75	60	85	108	23	
vest	-	141	65	48	44	85	140	136	112	100	134	24	
6 ling	-	54	82	84	95	103	33	68	64	87	-	24	
vest	-	68	124	107	70	117	45	45	43	128	-	20	

Tab. 3: Meßergebnisse der untersuchten Unterkiefer getrennt nach voll-, front- und unbezahnte Unterkiefer.

E Auswertung der Meßergebnisse

E I. Graphische Darstellung:

Zur übersichtlicheren Darstellung können wir diese Werte graphisch verarbeiten. Dabei ergeben sich verschiedene Möglichkeiten der Darstellung: Einmal kann man jeden Schnitt für sich betrachten und zu jedem Segment $A_1 - A_{11}$ den dazugehörigen Winkel auftragen.

Diese 11 Punkte im Diagramm werden graphisch interpoliert.

Dies ist möglich, weil keine Unstetigkeitsstelle der Winkel der Spongiosaelemente eines Flächenelementes zu den Winkeln des nächstfolgenden Flächenelementes vorhanden ist.

Darüberhinaus wird für jede einzelne Höhe der funktionelle Verlauf des Spongiosawinkels längs des Unterkiefers dargestellt.

Eine Verbindung der maximal sechs Meßpunkte pro Diagramm für die Höhe h_x ist nur mit Einschränkung zulässig.

Jeder dieser Meßpunkte befindet sich im Kiefer in einer horizontalen Entfernung von etwa 1,5 cm. Allerdings wird das Verhältnis der gemessenen Punkte zu den Abständen günstiger, wenn man bedenkt, daß jeder Meßpunkt eine Strecke von 2,5 mm repräsentiert.

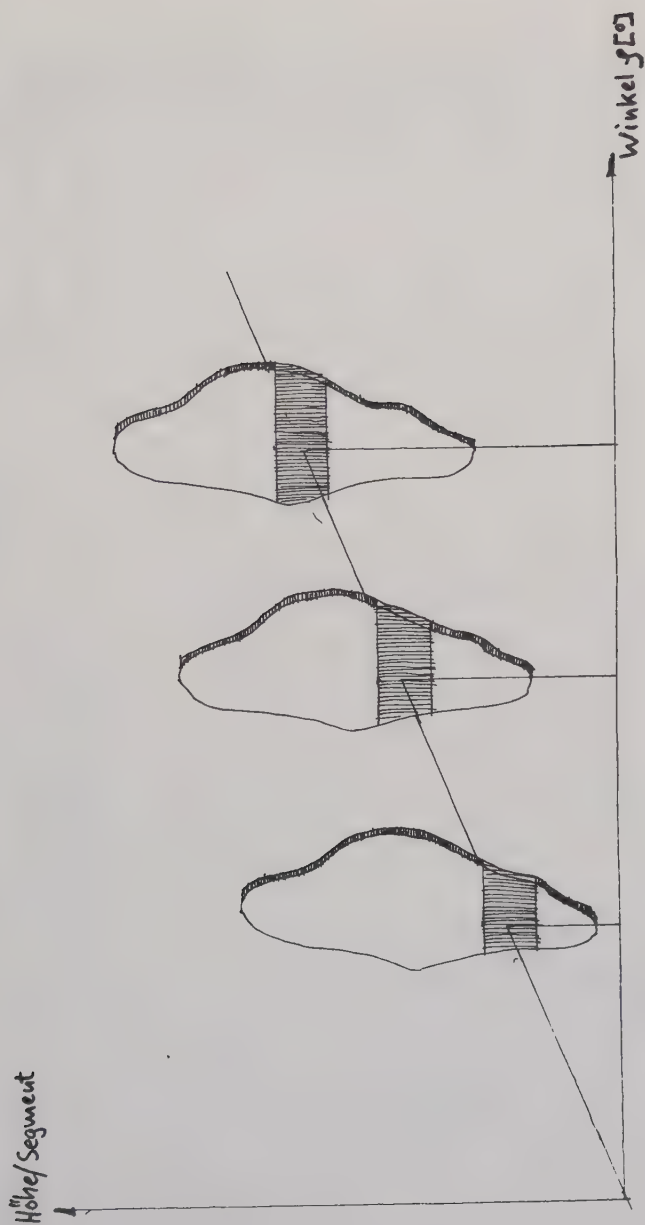


Abb. 15: Repräsentativ segmentale Spongiosaverläufe.

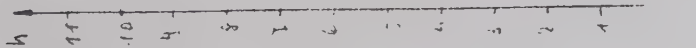
Wegen der Fülle des Bildmaterials der vorliegenden Arbeit wird darauf verzichtet alle Graphen der Meßergebnisse abzubilden. Repräsentativ wird von jeder untersuchten Gruppe nur eine graphische Darstellung abgebildet. Alle übrigen Graphen sind beim Verfasser einzusehen.

vollbez.

1.1.2.2r
27 lying.
23 rest.

— lying.
- - - rest.

8	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
8	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8

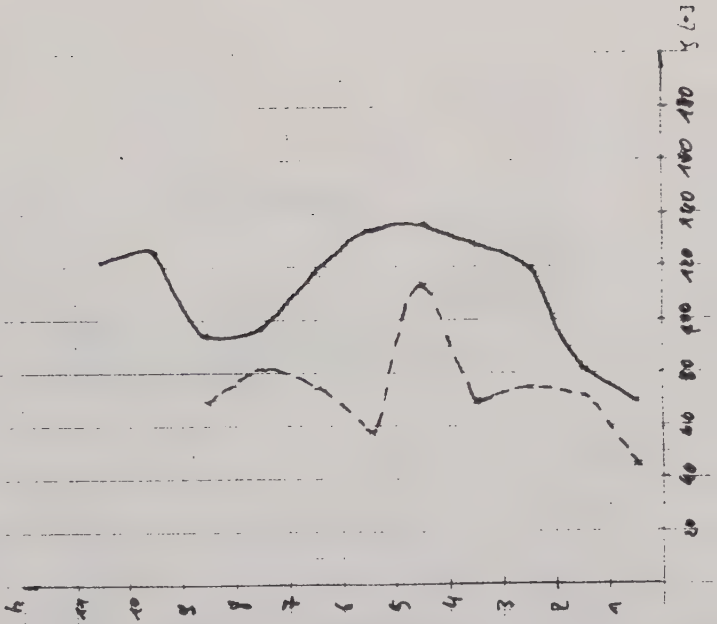


13.1.2.1r
34 lying.
32 rest.

vollbez.

— lying.
- - - rest.

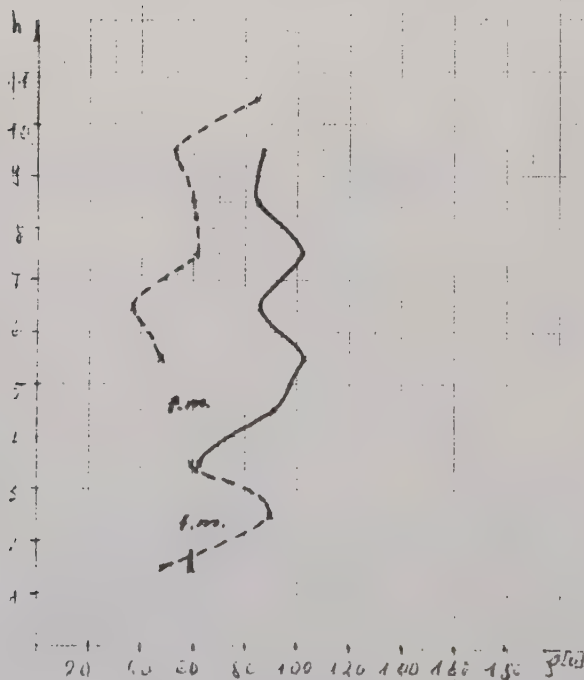
8	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
8	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8



1.1.2.3π
24ling.
24rost.

vollbez.

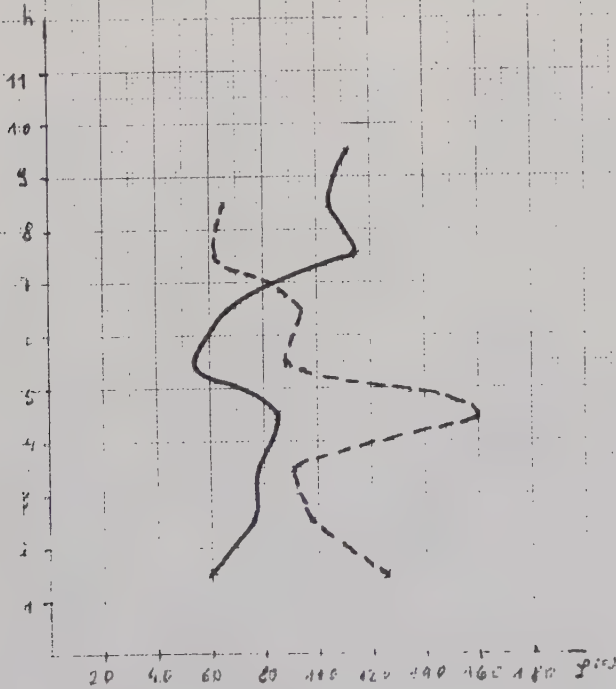
0	6	5	1	0	2	1	1	2	3	4	5	6	7	0	
0	0	6	5	0	0	2	0	0	2	0	0	0	6	7	0



vollbez.

13.1.2.46
32 ling.
27 rest.

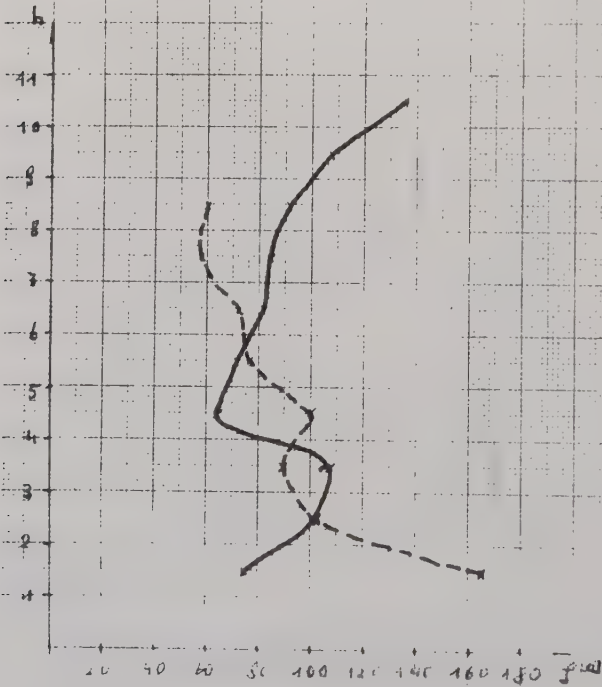
6	9	4	5	4	5	7	1	0	0	3	4	5	4	7	9
0	7	4	5	4	3	0	0	0	0	3	4	5	6	0	8



vollbez.

1. 1. 2. 5 r
27 ling.
20 rest

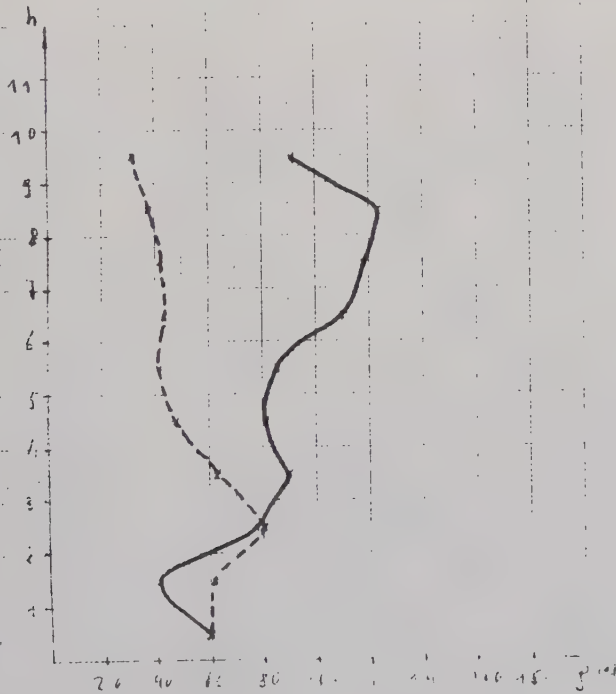
6	0	5	4	0	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	5	4	0	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8



vollbez.

1.1.2.6r
17 ling.
15 rest.

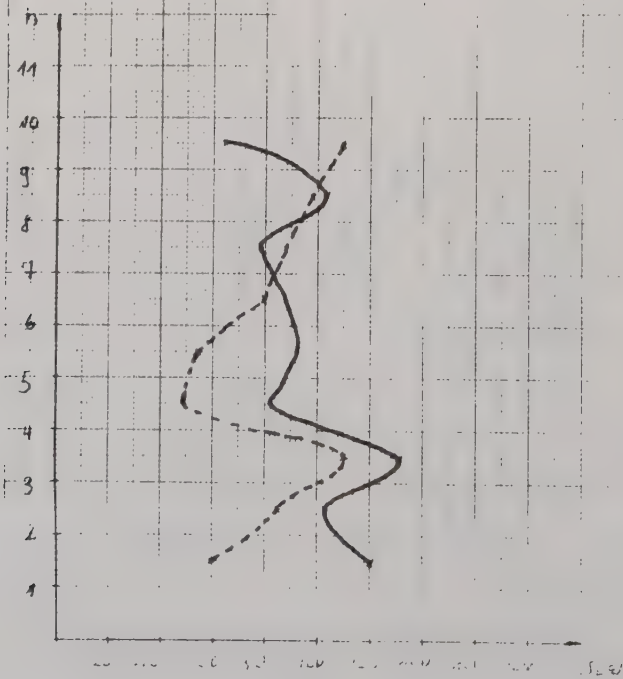
8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
8	7	6	5	4	3	2	1	0	2	3	4	5	6	7	8



front bez.

0.3.4.1r
25 ling.
24 rest.

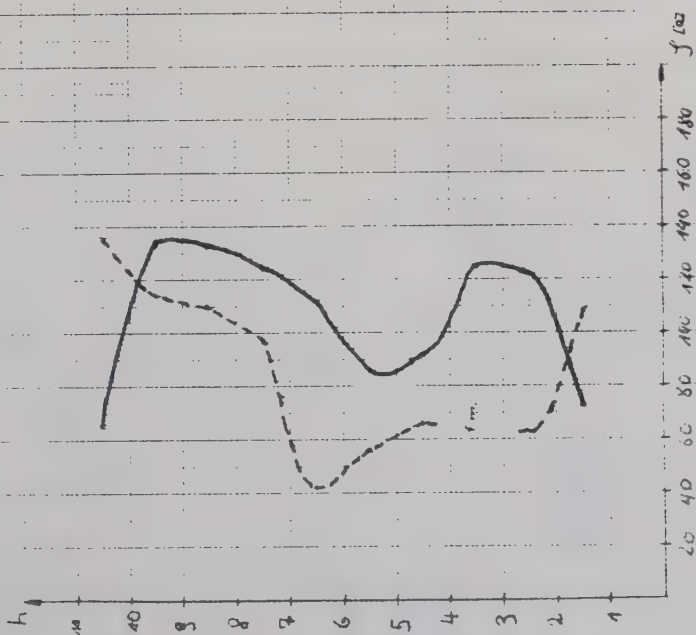
8	7	5	1	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
8	2	4	3	4	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8



front bez.

7.12.38
25 ling.
28 vest.

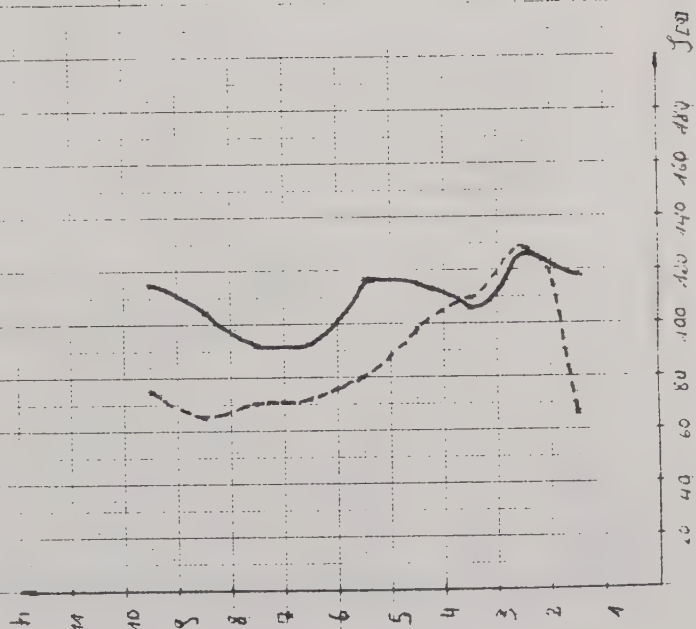
87 8 5 4 3 2 0 1 0 0 0 4 5 7 8
87 8 5 4 3 2 0 1 0 0 0 4 5 7 8



front bez.

0.3.4.28
30 ling.
28 vest.

87 8 5 4 3 2 0 1 0 0 0 4 5 7 8
87 8 5 4 3 2 0 1 0 0 0 4 5 7 8



front bez.

99.3.4.67
16 ling.
18 rest.

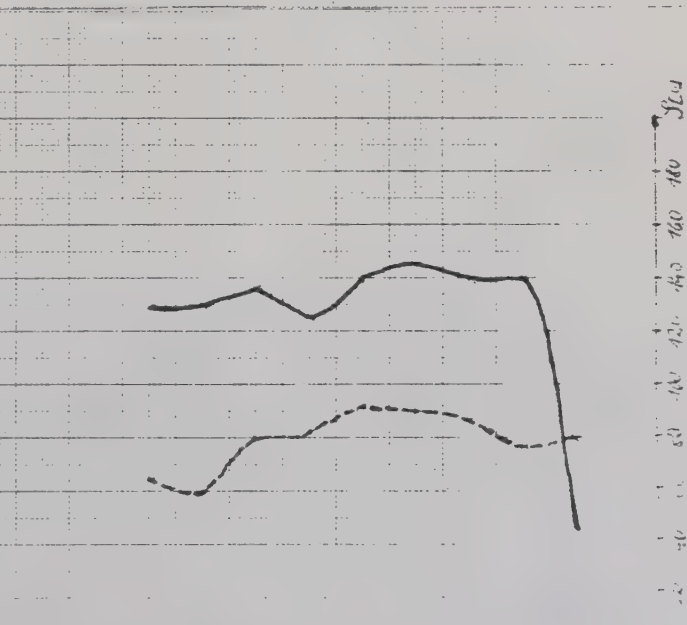
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

umber.

12.3.4.2r
27 ling.
23 week.

07454321 12345678
07454321 12345678

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

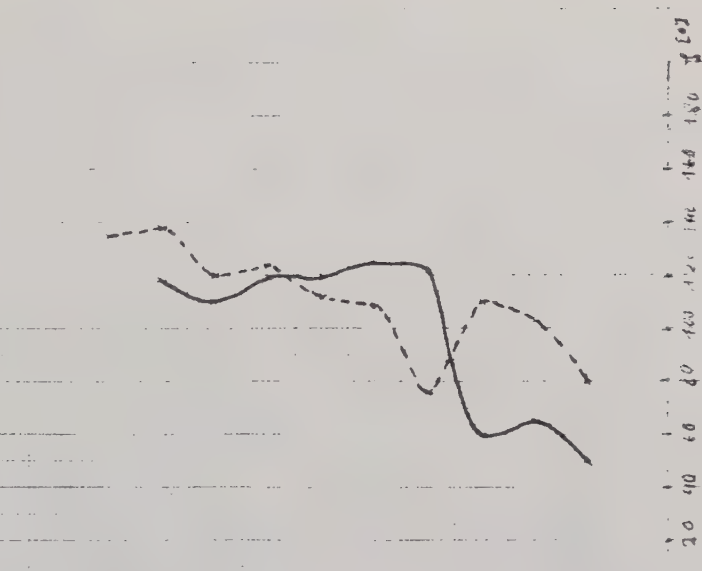


umber.

5.7.8.1r
20 ling.
22 week.

07454321 12345678
07454321 12345678

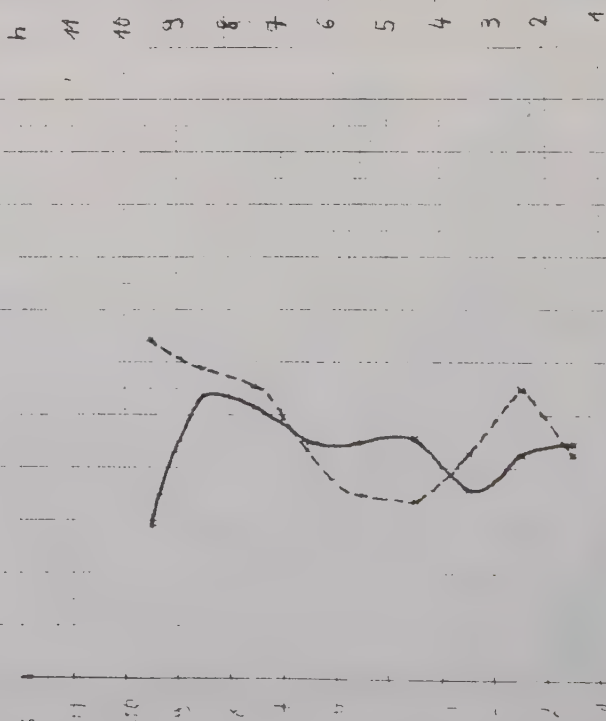
12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1



Unber.

6.5.6.4π
18 ling.
28 West.

8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8

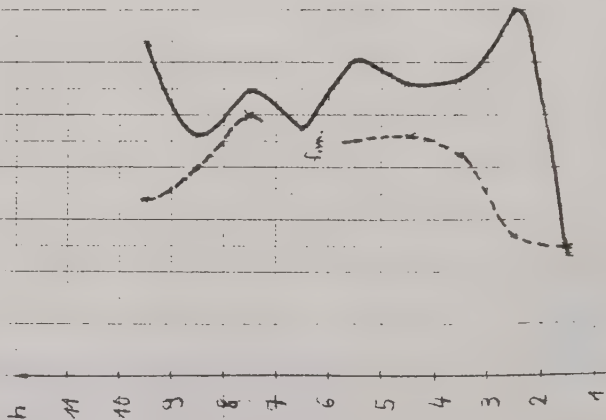


60 80 100 120 140 160 180

Unber.

12.3.4.3π
20 ling.
13 West.

8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8
8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8



40 60 80 100 120 140 160 180

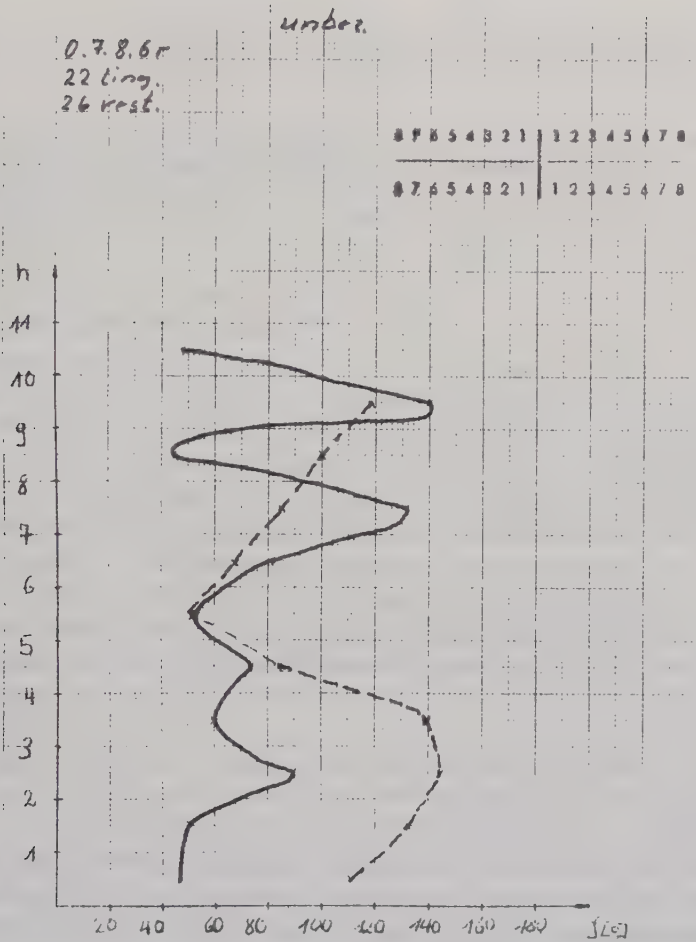


Abb. 16: Graphische Darstellung der Spongiosaverlaufsrichtung als Funktion der Höhen 1-11 bzw. der Segmente 1-11 getrennt nach Bezahnungsgruppen und Schnittstellen.

E II Bildung statistischer Mittelwertsunterkiefer

Wenn die Spongiosastruktur der Unterkiefer eine funktionsorientierte Anordnung aufweist, so muß in vergleichbaren Unterkieferquerschnitten eine grob quantitative bzw. eine grob qualitative Übereinstimmung in der Richtung der Spongiosaverläufe vorhanden sein.

Eine derartige Übereinstimmung ist gedanklich schon deshalb zu erwarten, weil Knochen in vivo einen piezoelektrischen Effekt aufweist und zudem schon in vielzähligen Untersuchungen nachgewiesen wurde, daß die Einbringung von elektromagnetischen Feldern in lebenden Knochen sowohl eine Wachstumsstimulation im Sinne einer Beschleunigung einer Osteogenese, als auch ein richtungsmäßig determiniertes Knochenwachstum zur Folge haben kann. Dabei scheint die richtungsmäßige Determination der elektromagnetisch induzierten Osteogenese sogar von der genetischen Information weitgehend entkoppelt zu sein. So zeigte Weigert (1973), daß durch Einsatz von elektromagnetischen Feldern der Knochen ein im Sinne der für den Körperbau des Kaninchens unphysiologisch gerichtetes Wachstum aufwies.

Außerdem beweist diese Veröffentlichung die vektorielle Ausrichtung des Knochenwachstums.

Im Falle des Fehlens von elektromagnetischen Feldern bestimmen genetische Faktoren oder aber auch pathologische Geschehnisse die geometrische Form des Unterkiefers bzw. des Knochens; d.h. es müssen für die Osteogenese und auch für die Osteoneogenese quantitativ abgestufte "Wachstumsinduktionspotentiale" bestehen.

Normalerweise liegt der Knochenbildung ein nahezu nur genetisch bedingtes "Wachstumsinduktionspotential" (= WIP) zugrunde; in diesen Fällen dürfte im wesentlichen nur die genetische Infor-

mation formbestimmend sein. Meines Erachtens sind allerdings untermäßig zusätzlich noch belastungsabhängige Formgebungen vorhanden, wie sie sich z.B. in der Spongiosastruktur des Femurkopfes zeigen. Wird nun diese physiologische Wachstums- und Umgestaltung durch pathologische Prozesse beeinflusst, so erkennt man, daß physiologische Knochenbereiche zurückgedrängt, ja sogar resorbiert werden wie es z.B. bei der Bildung von Zysten oder Osteomyelitiden deutlich sichtbar ist. Hier scheint das oben erwähnte "WIP" durch ein pathologisch höher stehendes quantitatives "WIP" übersteuert worden zu sein.

In gleicher Weise wie das zuletzt genannte pathologische Geschehen, muß auch der Einsatz von elektromagnetischen Feldern bestimmter Amplitude und Frequenz ein quantitativ höherstehendes "WIP" darstellen, denn sonst könnte keine Übersteuerung der physiologischen Wachstumstätigkeit in Bezug auf Form und Anordnung des Knochens entstehen.

Die Meßergebnisse der vorliegenden Arbeit beziehen sich nur auf menschliche Leichenunterkiefer, deren genaue Anamnese nicht bekannt ist. Dies bildet für die Auswertung einen nicht behebbaren Unsicherheitsfaktor.

Dennoch ergibt der Vergleich entsprechender Unterkieferschnitte gleicher Gruppen eine qualitative Übereinstimmung in den Richtungen der Spongiosaelemente und auch eine grob qualitative Übereinstimmung in der Querschnittsform der Kompakta. Wenn auch die Geometrie der Kompakta oder die Quantität der Spongiosa starke Unterschiede aufweist, so handelt es sich makroskopisch immer um Hohlprofile und um eine nahezu senkrechte Einstrahlung der Spongiosabälkchen an der Spongiosa-Kompaktagrenze.

Diese Beobachtung begründet m.E. schon die Zweckmäßigkeit des Vergleichs der entsprechenden Unterkieferquerschnitte in Bezug

auf die Richtung der Spongiosaverläufe. Aus der graphischen Darstellung der Meßergebnisse (s. Abschnitt E I), sieht man eine qualitative Übereinstimmung in den Spongiosarichtungen. Bei genauer Betrachtung erkennt man allerdings, unterteilt man die Unterkiefer nach unserem Vorschlag in Bezahnungsgruppen, eine noch bessere Übereinstimmung. Schon allein diese Beobachtung legt den Schluß nahe, daß hier belastungsorientierte Spongiosarichtungen vorliegen müssen. Darüber hinaus dürfte die Anzahl von 142 Mandibelhälften einen genügend großen repräsentativen Querschnitt für die Bildung von Mittelwerten bzw. die Anwendung statistischer Testverfahren liefern. Der Ordnung halber sei hier allerdings darauf hingewiesen, daß wegen des Umfanges der Arbeit nach primär erfolgtem Vergleich aller 142 Unterkieferhälften nicht alle Schnitte vermessen werden konnten.

Um eine präzisere Aussage über den Verlauf der Spongiosa in den Unterkieferquerschnitten zu gewinnen, sollen getrennt nach den drei Bezahnungsgruppen (unbezahnt, frontbezahnt und vollbezahnt) fiktive Mittelwertsunterkiefer gebildet werden. Die Darstellung dieser arithmetischen Mittelwerte erfolgt ganz analog wie in Abschnitt E I.

Tab. 4: Arithmetische Mittelwerte und deren Standardabweichungen der Spongiosaverlaufsrichtungen, sowie der Summe der einstrahlenden Spongiosabälkchen und der Aussenabmessungen nach Abschnitt C I Tab. 2, aufgeteilt nach voll-, front- und unbezahnte Unterkiefer.

E II a: tabellarisch

vollbezahnte Unterkiefer

Σ = Summe der einstrahlenden Balkchen; $\bar{x}$ = Mittelwerte; s = Standardabweichungen;															Σ
1 ling	$\bar{x}$	76	93,5	101,5	106,2	116	122	113,8	109,2	107,5	121	129,3	37		
	s	29,5	24,1	31,9	16,8	17	11,2	5	16	12,7	6,6	7	6,5		
vest	$\bar{x}$	62,3	78,8	94,5	80,5	85,7	86,5	104,5	76,3	75,8	49	40	36,7		
	s	43,7	31,8	23,9	24,6	24,1	28,9	38,9	30,4	13,1	29,7	0	6,1		
2 ling	$\bar{x}$	65	105,3	85,7	95	102,2	113,7	112,2	106,8	111,6	113,3	95	34		
	s	-	26,1	30,9	33,8	20,9	12,5	8,8	9,5	15,2	14,9	52,3	5,9		
vest	$\bar{x}$	45	101	90,2	87,7	77,2	91,3	65,8	53,8	56	66,7	110,7	32,8		
	s	-	33,3	29,5	25	35,1	30,5	17,6	8,2	9,1	55,8	18,3	6,6		
3 ling	$\bar{x}$	-	72,5	100,3	87	94	101,2	97,3	111,8	108	110,4	110,8	33,2		
	s	-	17,7	37,3	33,2	25,2	27,2	21,8	7,2	17,2	20	17,3	7		
vest	$\bar{x}$	-	62	82	65,8	92,8	55,3	56,7	63,5	65,4	55,8	60,8	30,2		
	s	-	17,8	45,1	34,4	35,1	22,8	20,9	28,2	27,1	34,1	17,0	8,2		
4 ling	$\bar{x}$	-	56,8	70	76,8	85,3	86	95	88,7	94,3	100,7	126,7	32,3		
	s	-	8,3	15	21	22,2	34,2	19,1	26,9	30,6	26,5	35,1	4,9		
vest	$\bar{x}$	-	63,2	81,5	76,2	99,7	109	104,3	98	98,5	120	140	30		
	s	-	43,7	36,7	24,6	35,5	34,1	21,5	33,9	26,1	17	0	8,3		
5 ling	$\bar{x}$	-	62,4	97,7	97,2	94,2	76,8	76,8	78,2	82	85,3	123,5	35,7		
	s	-	16,8	29,1	26,3	21,1	15,7	15,7	14,1	24,3	28,2	17,7	6		
vest	$\bar{x}$	-	63	77,3	78,5	82	79,7	95,8	75	82	88,5	120	32,2		
	s	-	57,4	44,4	22,7	19,1	29,4	39,4	29,4	38,8	33,2	0	8,7		
6 ling	$\bar{x}$	58,6	60	74,3	83,2	88,5	72,8	98,8	104,4	110,3	91,3	-	19,8		
	s	37,2	27,2	20,4	25,1	15,1	21,5	28,7	17,8	19,5	1,2	-	5,1		
vest	$\bar{x}$	110,4	97,5	108,5	111	96,8	99,5	84	72,8	60	60	58	18,5		
	s	49	37,1	25,7	25,8	36,4	36,7	44,3	39,1	28,4	28,4	38,9	4,8		
Kieferwinkel				Kondylenabstand		Länge		Höhe		Alter					
$\bar{x}$	120,2°			9,8 cm		7,7 cm		5,6 cm		68,8 Jahre					
	12°			0,8 cm		0,9 cm		1,2 cm							

unbezahnte Unterkiefer

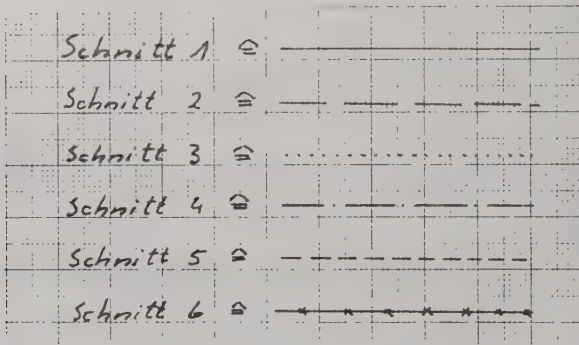
1	ling	x	-	70,5	94	107	116,6	107,5	105,3	106,2	106,3	106,8	135	23,5
	vest	s	-	16,5	23,7	30,3	13,7	39,7	35,6	31,6	25,2	26,1	0	4,1
	ling	x	-	82	106,7	104,5	106,2	98,2	113	125,8	120	113	127,5	25,2
	vest	s	-	39,6	36,6	42,4	24	36	28,1	41	21,2	26	10,6	4,4
2	ling	x	-	45,4	72,5	90,7	110,3	118,8	134,7	131,3	130,7	128	145	23,8
	vest	s	-	6,3	42,5	44,5	44,3	34	14,2	22,8	22,3	20,4	0	2
	ling	x	-	83,2	108,8	93,7	87,5	89,7	89,3	95	79,7	90,2	60	24
	vest	s	-	48,9	41,3	36,1	32,5	34,1	36,3	25,1	32,9	40,4	0	2,1
3	ling	x	-	55,7	85,7	100,2	97,2	91	103,7	96,3	118,4	133,3	135,5	20,2
	vest	s	-	27	34,1	33,1	39,5	32	31,1	37,1	17	12,6	17,7	3,7
	ling	x	-	52,2	68	98,5	99,8	98,2	96	93,2	92,8	88,2	67,5	19,3
	vest	s	-	31,1	33,5	30,8	24,2	26,4	35,4	20	51	31	24,8	4,5
4	ling	x	35	68,3	62,5	76,3	87,3	94,8	94	73,2	90,3	102,4	108	21,3
	vest	s	0	37,6	14,4	15,9	11,2	9,5	35,2	33,6	26,1	32	0	5,2
	ling	x	30	76,8	70	73,2	74,8	93	116,8	115	116,3	130	132	20,7
	vest	s	0	40,5	21,4	25,2	17,7	22,5	25,5	35	30,4	36,1	2,8	5,3
6	ling	x	47	52,2	72,7	89,5	101,2	88,7	90,4	100,3	87,7	97,4	69	17,5
	vest	s	0	5,3	20,8	25,2	20,8	42,7	38,7	28	34,9	24,4	29,7	5
	ling	x	112	68	97,3	92,3	101,5	96,8	85	77,3	87,8	107,8	127	17,8
	vest	s	0	33,6	34,3	29,2	20,1	26,6	26,9	17,2	26,7	21,6	0	5,7

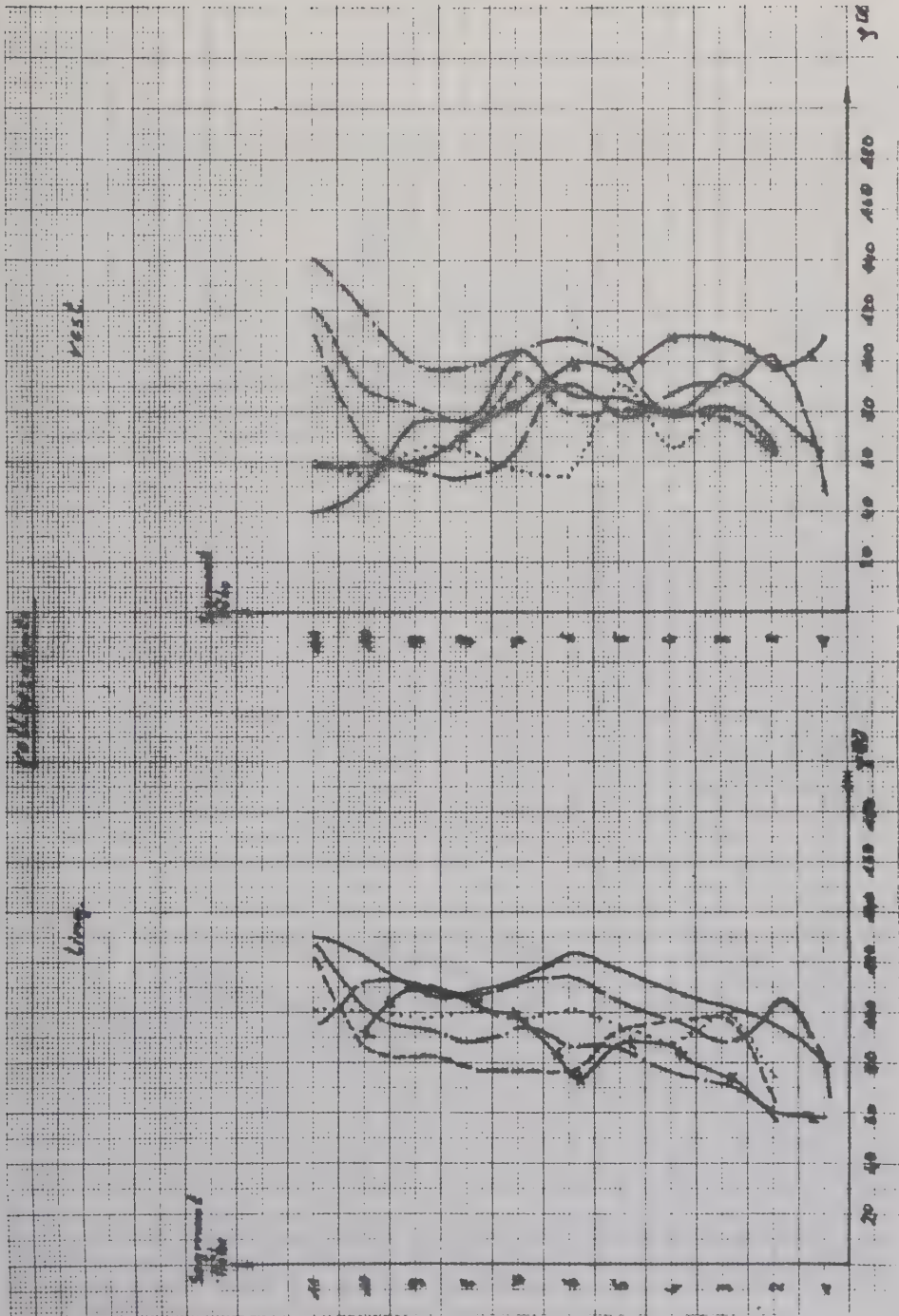
Kieferwinkel

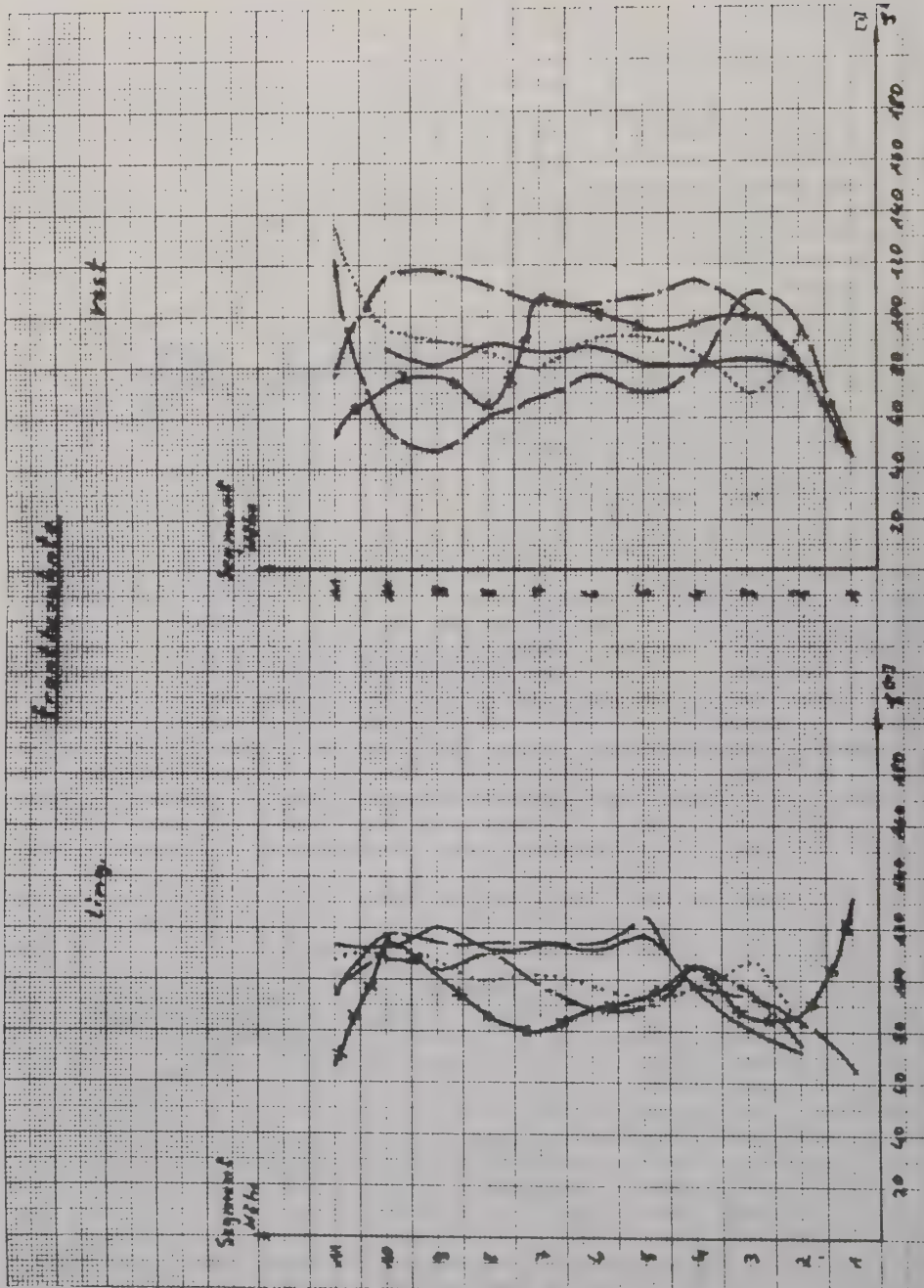
	Kondylenabstand	Länge	Höhe	Alter
$\bar{x}$	10,4 cm	7,7 cm	4,6 cm	70,8 Jahre
s	0,8 cm	0,7 cm	0,7 cm	

E II b: graphisch

Abb. 17: Graphische Darstellung der arithmetischen Mittelwerte der untersuchten Spongiosaverlaufsrichtungen, unterschieden nach Bezahlungsgruppen und Schnittstellen.



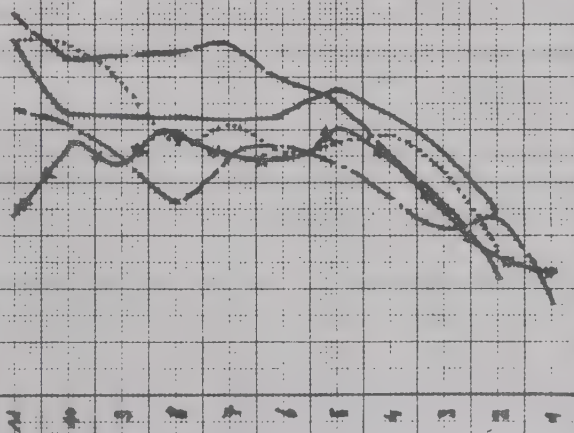




Under 30 km/hr

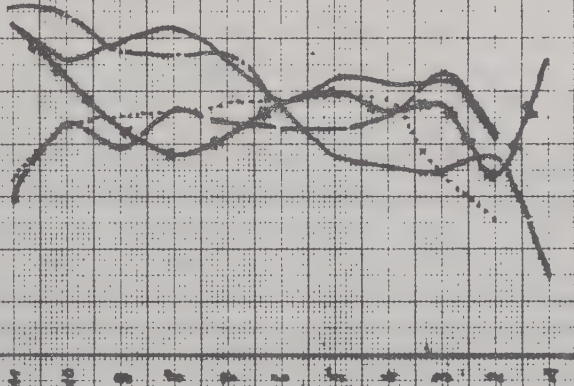
Very

Winds
to wind



rest

Winds
to wind



50

50

20

20

E III. Fehlerdiskussion

Die Aussagekraft der statistischen Mittelwertsunterkiefer ist von Fehlern bei der Auswertung abhängig.

Als fehlerbehaftete Größen sind die Dicke der Schnitte, ihre Lokalisation, die Festlegung der Achse cranio-caudal und die Messung der Winkel zu bewerten.

Darüber hinaus treten bei der Mittelwertsbildung der Spongiosaverlaufsrichtungen Standardabweichungen insofern auf, als die Kiefertypen zwar nach ihrer Bezahnung eingeordnet wurden, die Mastikationsgewohnheiten der Probanden aber nicht nur von der Existenz der Eichnerschen Stützzonen abhängen, sondern auch durch vielfache an dieser Stelle nicht zu diskutierende Faktoren (z.B. Zahnersatz) beeinflusst werden. So gesehen sind bei den Mittelwerten der Meßergebnisse relativ große Standardabweichungen zu erwarten.

Die Dicke der Schnitte war mit einem absoluten Fehler von ca. $\pm 0,1$ mm behaftet. Dieser Fehler ist sicherlich nicht signifikant, zumal die Lokalisation der Schnittstellen bereits um $\pm 0,5$ mm differierte. Diese beiden Fehler fallen aber wohl nicht ins Gewicht, da die Spongiosaverlaufsrichtungen über die Schnittdicke röntgenologisch integriert wurden, und dadurch schon eine gewisse Schwankungsbreite der Spongiosaverläufe an den Schnittstellen gegeben ist.

Die Lokalisation der Schnittstellen war außerdem bei vollbezahnten Kiefern naturgemäß leichter zu verifizieren, als bei frontoder unbezahnten Kiefern.

Bei der Winkelmessung sind zwei weitere Fehlerquellen zu berücksichtigen. Zum einen ist die Festlegung der Achse cranio-caudal

sicherlich mit einem Fehler von etwa $\pm 5^\circ$ behaftet, zum anderen ist die Mittelung der Spongiosaverläufe in einem Flächensegment nicht unerheblich variierend. Hinzu kommt noch, daß diese Mittelung rein subjektiv vom Auge des Betrachters abhängt. Um den dadurch gemachten Fehler abzuschätzen, wurden Testmessungen von 5 verschiedenen Personen durchgeführt. Dabei ergab sich beim selben Objekt ein mittlerer subjektiver Fehler von $\pm 12^\circ$.

Diese mit den oben beschriebenen Fehlern behafteten Werte, wurden nun - da es sich um eine statistische Arbeit handelt - gemittelt. Es zeigte sich, daß die zu jeden Mittelwert gehörenden Standardabweichungen den Fehler bei der Winkelmessung übertreffen, so daß dieser vernachlässigt werden kann.

In den Tabellen der Durchschnittswerte wird die dazugehörige Standardabweichung aufgeführt. In den Graphen wurde sie aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht wiedergegeben.

Im übrigen sind Fehlerbetrachtungen und Standardabweichungen bei der Untersuchung biologischen Materials ohnehin problematisch, da sie wegen der biologischen Streubreite der untersuchten Objekte größere Beträge annehmen müssen, als es auf Grund der rein meßtechnischen Fehlerquellen unvermeidbar ist.

F Diskussion

Bis heute befaßt sich eine Vielzahl von Untersuchungen mit der Frage, ob die Spongiosastruktur Ergebnis einer funktionellen Anpassung bei physiologisch-mechanischer Belastung zu betrachten ist. Namhafte Autoren, insbesondere Motsch (1965), zeigten, daß die Spongiosastruktur nur in bestimmten Unterkieferbereichen als eine funktionelle Anpassung auf Grund physiologisch-mechanischer Belastung zu werten ist. Motsch wies im proc. articularis, im aufsteigenden Ast und im Alveolarfortsatz des Unterkiefers nach, daß die Spongiosastruktur als ein statisch angepaßtes System gesehen werden muß. Für den Bereich des corpus mandibulae verneinte er allerdings die Gültigkeit dieser Hypothese.

Hier setzt unsere Studie ein. Wenn wir im folgenden über die Ausrichtung der Spongiosastruktur diskutieren, so beziehen sich alle Aussagen im wesentlichen auf die Knochenstruktur I. Ordnung, d.h. auf die makroskopische Spongiosa - Kompaktaverteilung. Histologische Begriffe wie Osteone, Schaltlamellen und Fibrillen sind davon nicht betroffen.

Bei einer Analyse der makroskopischen Struktur und insbesondere wenn man die Frage nach der funktionellen Anpassung untersuchen will, so setzt dies eine genaue Kenntnis der physiologischen Belastung des gesamten Unterkiefers als mechanisch geschlossenes System voraus. Dieses geschlossene System muß darüberhinaus noch additiv durch eine Vielzahl von Auflagereaktionen komplettiert werden. Unter Auflagereaktionen sind hier neben Zugkräften aller Kaumuskeln, die wiederum durch individuelle neuromuskuläre Matritzen probandenspezifisch verschieden sind, auch die Auflagereaktionen in den Kiefergelenken und die Kinematik der Mastikation zu verstehen. Die Kinematik hängt unter anderem auch stark von den Eichnerschen Stützzonen ab, weil der Zahnbestand oder gar das Fehlen von prothetischen Hilfsmitteln, was in unseren

europäischen Bereich allerdings selten sein dürfte, die bevorzugte Lokalisation mechanischer Belastung bei der Mastikation bestimmt. Aus der Komplexität und der individuellen Variationsbreite dieser Parameter ersieht man schon, daß es wohl nahezu unmöglich sein dürfte ein mechanisches Ersatzschaltbild des gesamten Unterkiefers individuell spezifisch in vivo zu entwickeln, wobei allen Parametern kinematisch exakt einbezogen werden. Zudem kommt noch hinzu, daß die makroskopische Form eines Unterkiefers mathematisch analytisch nicht faßbar ist, sondern höchstens durch Iterationsverfahren möglicherweise mit Relaxationsfaktoren angenähert werden kann.

Man erkennt daraus, daß zur Klärung der funktionellen Anpassung sicherlich keine deduktive Vorgehensweise zum Erfolg führt, die vom mechanischen Ersatzmodell eine zwingende Vorschrift für die Anlage der Spongiosastruktur liefert. Deshalb wurde im Rahmen dieser Arbeit der empirisch induktive Weg gewählt. Man geht von einer möglichst großen, annähernd gleichartig bezahnten Zahl von Unterkiefern aus und untersucht ohne mechanisches Ersatzmodell die Verlaufsrichtung der Spongiosastruktur auf Übereinstimmung.

Diese Vorgehensweise erscheint deshalb sinnvoll, weil der Knochen in vivo einen piezoelektrischen Effekt zeigt, der vektoriellen Charakter hat. Aus biologischen Untersuchungen weiß man außerdem, daß sich Knochen regenerieren kann und ständig - allerdings über ein längeres Zeitintervall hinweg - den verschiedenen, möglicherweise neu hinzugekommenen mechanischen Belastungen anpaßt. So beobachtet man bei Patienten mit Frakturen eine Verkürzung der Heildauer, wenn eine funktionsstabile Schienung der Frakturstücke erfolgt und in möglichst kurzer Zeit nach der Schienung der frakturierte Knochen der physiologischen üblichen mechanischen Belastung ausgesetzt wird.

Ist die Spongiosastruktur funktionell angepaßt, so muß die Aus-

richtung der Spongiosabälkchen in den Bereichen der Unterkiefer mit maximaler und quantitativ häufigster Belastung, dieser Belastung Rechnung tragen.

Betrachtet man zunächst einmal die wohl kaukräftigste Unterkiefergruppe, nämlich die vollbezahnten Unterkiefer, so muß sich besonders an den Stellen maximaler Belastung eine besonders intensive Ausrichtung der Spongiosabälkchen nach dem resultierenden Kraftvektor ergeben. Das Kauzentrum des menschlichen Unterkiefers liegt im Bereich des 1. Molaren. Bei voller Bezahnung wird demzufolge an dieser Stelle die meiste Kauarbeit geleistet, und zwar sowohl in Bezug auf Häufigkeit des Kauens als auch auf maximale Kaukraftentfaltung. Sicherlich spielen gnathologische Fehlbelastungen d.h. nicht axiales Belasten des 6 Jahr-Molaren eine entscheidende Rolle im parodontotischen Umbaugeschehen und daraus möglicherweise resultierende Knochenatrophie mit ihren Konsequenzen, doch sollen an dieser Stelle diese pathologischen Kriterien ausgenommen werden. Grob Qualitativ kann man wohl sagen, daß bei axialer Belastung des 1. Unterkiefermolaren eine Ausrichtung der an dieser Stelle im Unterkiefer befindlichen Spongiosastruktur in dieser Achse stattfinden muß. Aus den Abbildungen (19a - f) erkennt man eindeutig, daß der Ausrichtungswinkel der Spongiosabälkchen im Schnitt S 4 (zwischen 1. und 2. Molaren) ein Maximum aufweist. Nach Abbildung (12) wurde dieser Ausrichtungswinkel zwischen der Achse cranio-caudal und der Spongiosabälkchenrichtung bestimmt. Bei exakter Belastung der Molaren von cranial, wäre demzufolge eine Ausrichtung von 180° funktionell optimal orientiert. Aus der Prothetik weiß man allerdings, daß die Stellung der Molaren im Unterkiefer einer heloidalen Verwindungskurve unterliegen. Für die Messung der Spongiosabälkchenwinkel auf der vestibulären Seite bedeutet das, daß hier größere Winkelwerte zu erwarten sind als auf der lingualen Seite. Die Abbildungen (19a + b) ergeben bei vollbezahnten Unterkiefern auf der vestibulären Seite im Segment 11 bei Schnitt

S 4 einen mittleren Winkel von 140 Grad. Auf der lingualen Seite dagegen einen Winkel von ca. 130 Grad. Beiden Graphen ist allerdings gemein, daß diese Winkel bei S 4 die Maxima darstellen. Selbstverständlich sollten die schon oft erwähnten individuellen Streubreiten und auch das im wahrsten Sinne des Wortes "lückenhafte Unterkiefermaterial" nicht dazu anhalten, exakt quantitative Ergebnisse zu erwarten. Dennoch erscheint es mit angebracht, an dieser Stelle auf das wohl eindeutige quantitative Meßergebnis hinzuweisen.

Eine analoge Betrachtung im Bereich der anderen durchgeführten Schnitte setzt eine exakte funktionelle Mastikationsanalyse an den betreffenden Stellen voraus, was nicht mehr Aufgabe der hier durchgeführten Untersuchung war.

Der Vergleich der Abbildungen (20 a - c), zeigt besonders in den Segmenten A_1 - A_{11} eine spezifische Ausrichtung der Spongiosabälkchen nach dem Zahnbesatz der Unterkiefer. Bei der Gruppe der unbezahnten Unterkiefer zeigt der Mittelwert der Spongiosarichtung über alle 11 Segmente und alle Schnitte hinweg ein Verhalten das einer Radspeichenstruktur nahekommt. Wenn man dem Postulat von Küppers (1971) folgt, nachdem der Unterkiefer ein Körper gleicher Festigkeit ist, so zeigt die Abbildung (19c) global gesehen eine Spongiosaverlaufsrichtung, die sich nach der Kompaktaform des Unterkiefers orientiert, da die Spongiosarichtungen grob orthogonal zur Unterkieferoberfläche verlaufen, was Abbildung 18 zeigt.

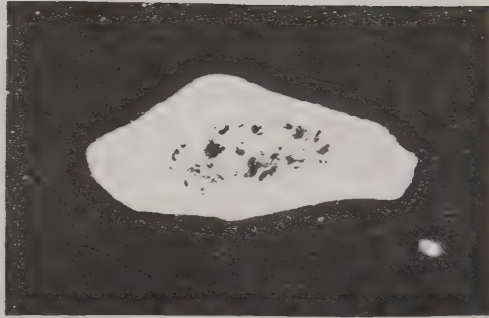


Abb. 18: Beispiel einer fast radspeichenförmig angeordneten
Spongiosaverlaufsrichtung, in Bezug auf die Kompakta.

Der Vergleich dieses Schemas mit der Abbildung (20a) läßt in den Segmenten $A_7 - A_{11}$ abgesehen von der eben erwähnten Radspeichenstruktur eine Richtungsänderung auf die Molarenachsen erkennen. Im Bereich der Segmente $A_1 - 6$ ist das nicht der Fall. Offensichtlich richtet der Unterkiefer den Verlauf seiner Spongiosa funktionell aus, denn in den Segmenten $A_7 - 11$ (also im Bereich des Alveolarfortsatzes), erfolgt beim vollbezahnten Unterkiefer im Vergleich zum unbezahnten Unterkiefer eine Ausrichtung der Spongiosa von der "Radspeichenstruktur" weg zur Zahnachse hin. Im Bereich des corpus mandibulae dagegen, also im größeren Abstand von der Kaubelastungsstelle des Unterkiefers, ist wieder eine annähernde Radspeichenstruktur vorhanden, die darauf abzielt, die den Unterkiefer prägenden Kräfte auf das Gesamtsystem des Unterkiefers möglichst gleichmäßig zu verteilen.

Die Radspeichenstruktur ist eine statische Anordnung, die den Umfang des Gesamtsystems (also hier den Unterkiefer) festigkeitsmäßig unterstützt. An den Stellen maximaler Belastung auf den Umfang, wird die Spongiosastruktur in ihrer Verlaufsrichtung allerdings der Belastung scheinbar angepaßt.

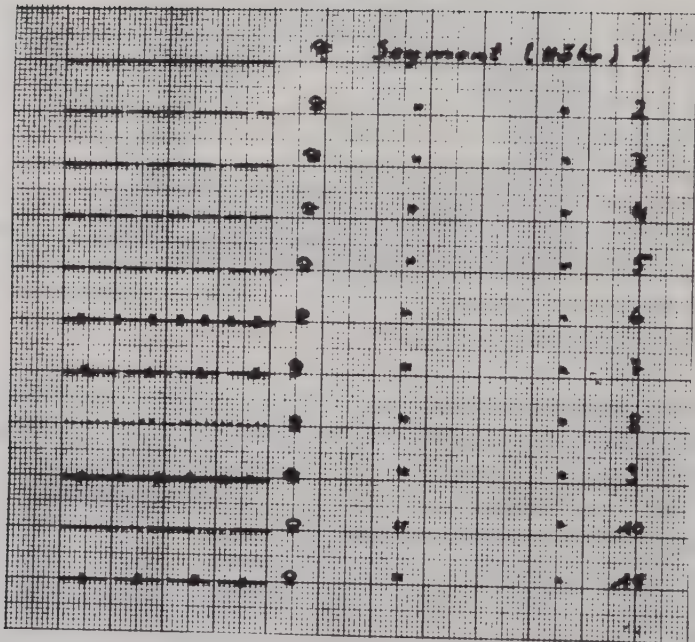
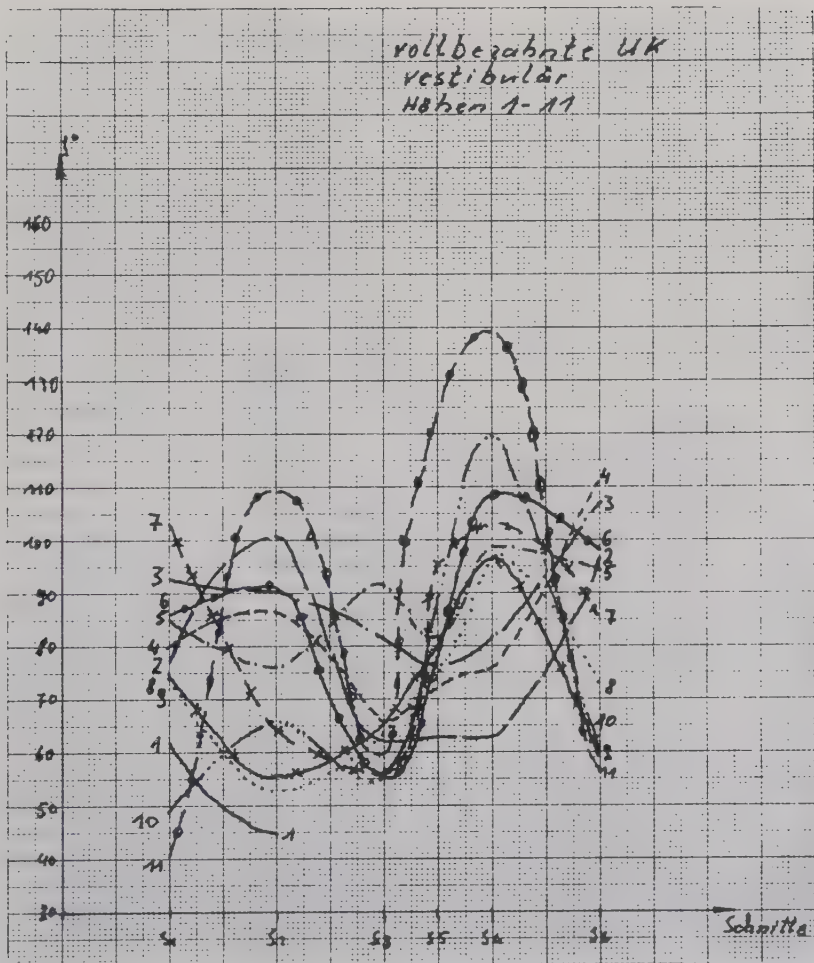
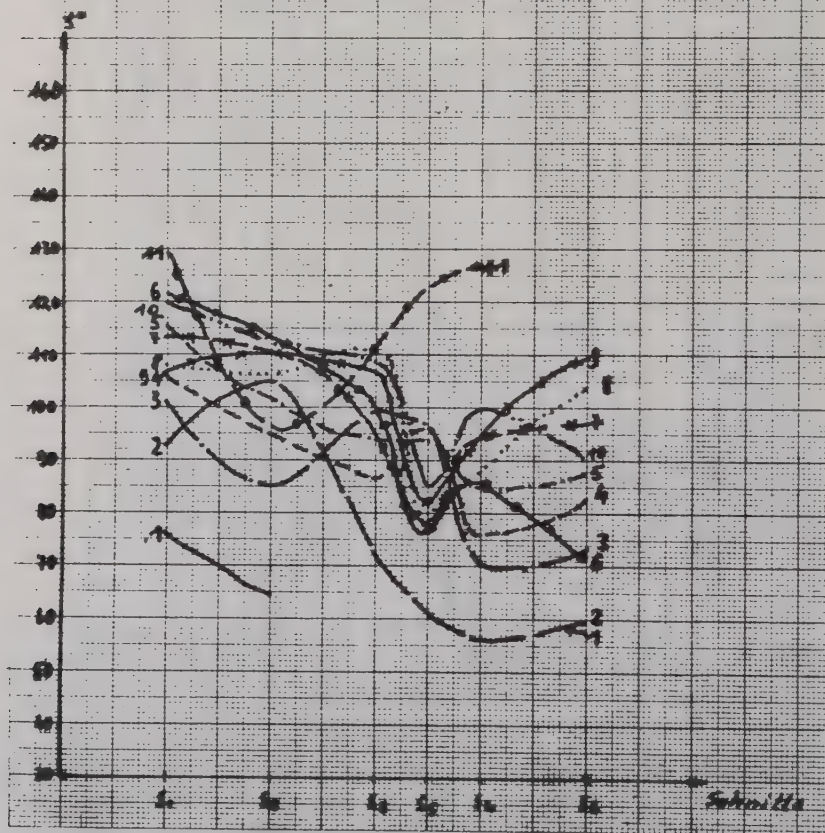
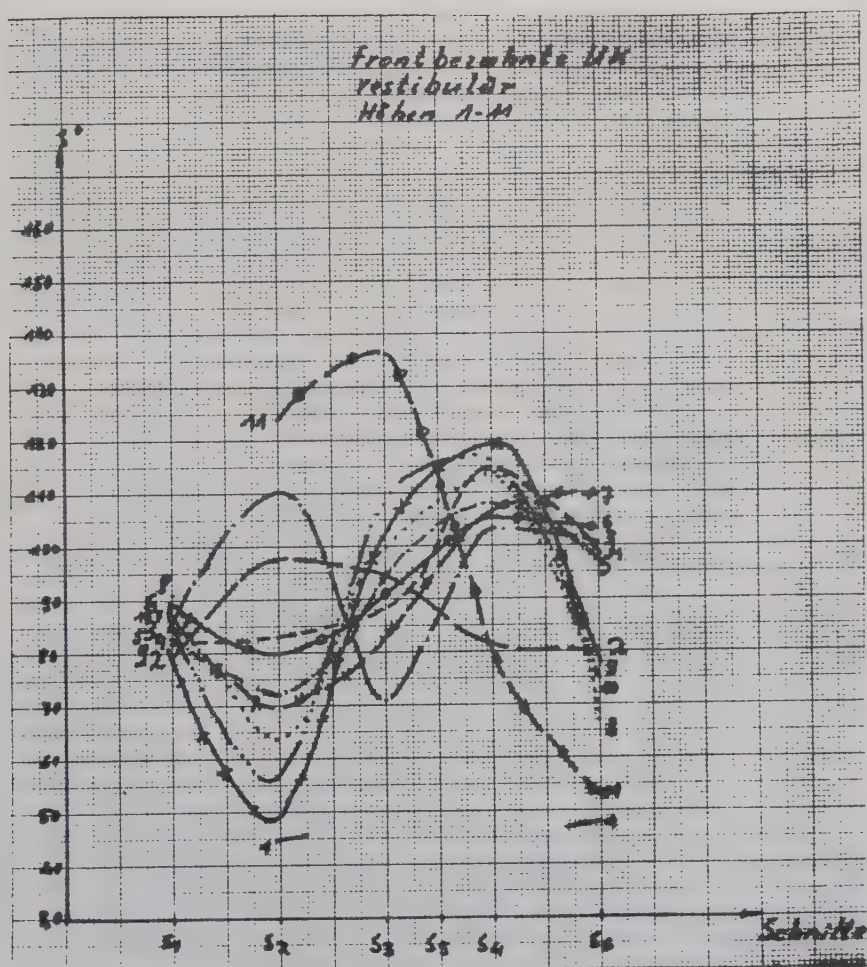


Abb. 19: Spongiosaverlaufsrichtungen als Funktion der Schnittstellen, getrennt nach Höhen (Segmenten) 1 - 11 unterteilt nach Bezahnungsgruppen sowie nach vestibulär und lingual

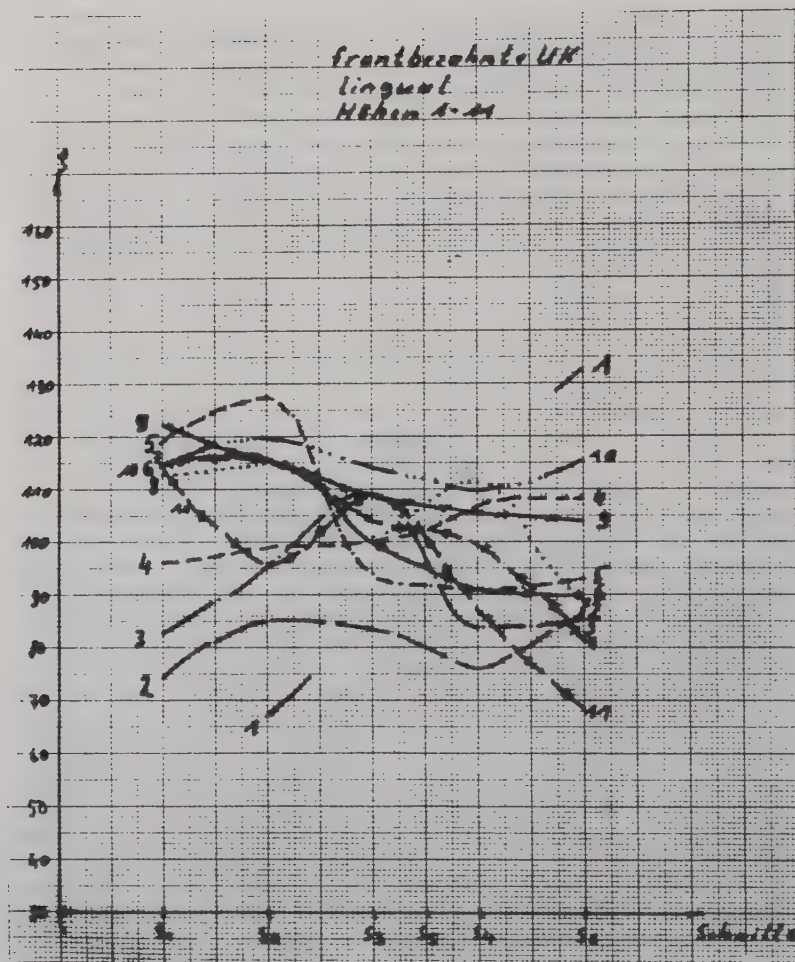


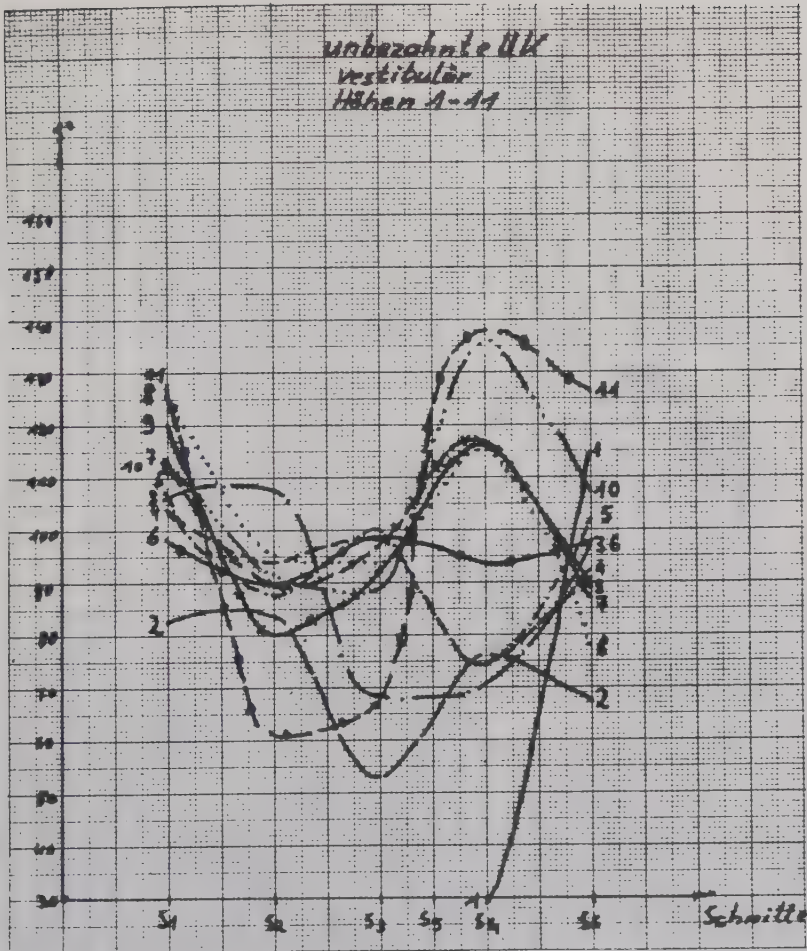
vollbezahnte UK
lingual
Höhen 1-14





frontbezahnte UK
lingual
Höhen 1-11





unbezeichnete UH
lingual
Höhen 1-11

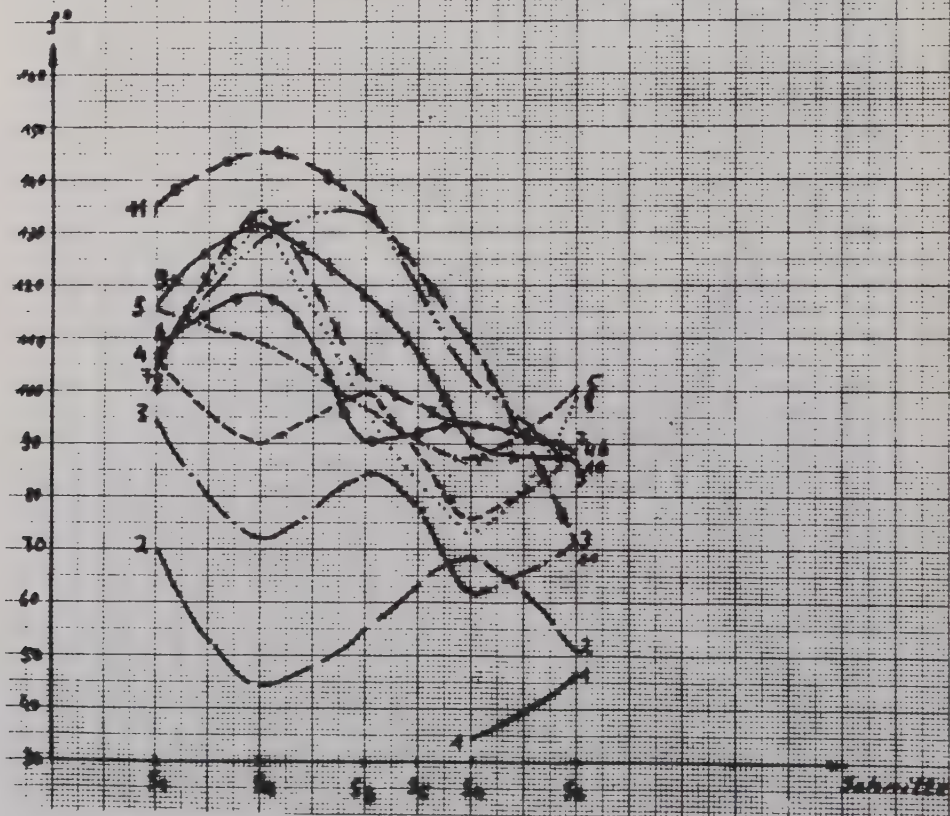
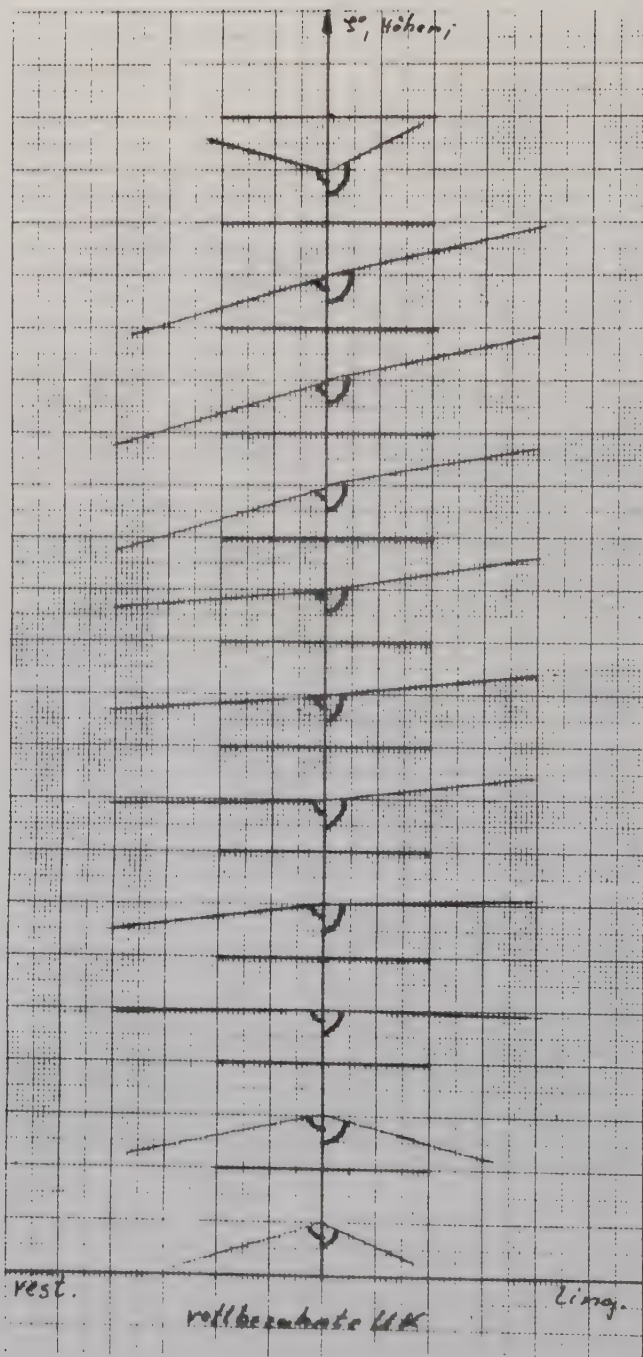
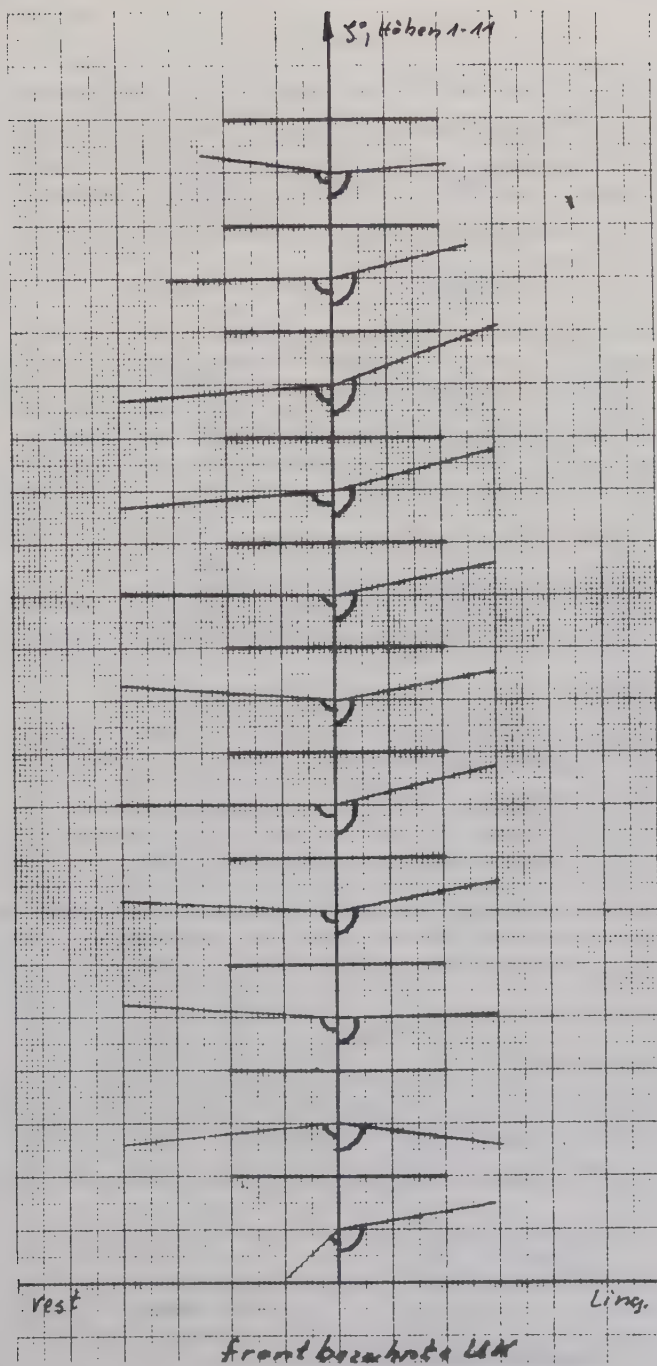


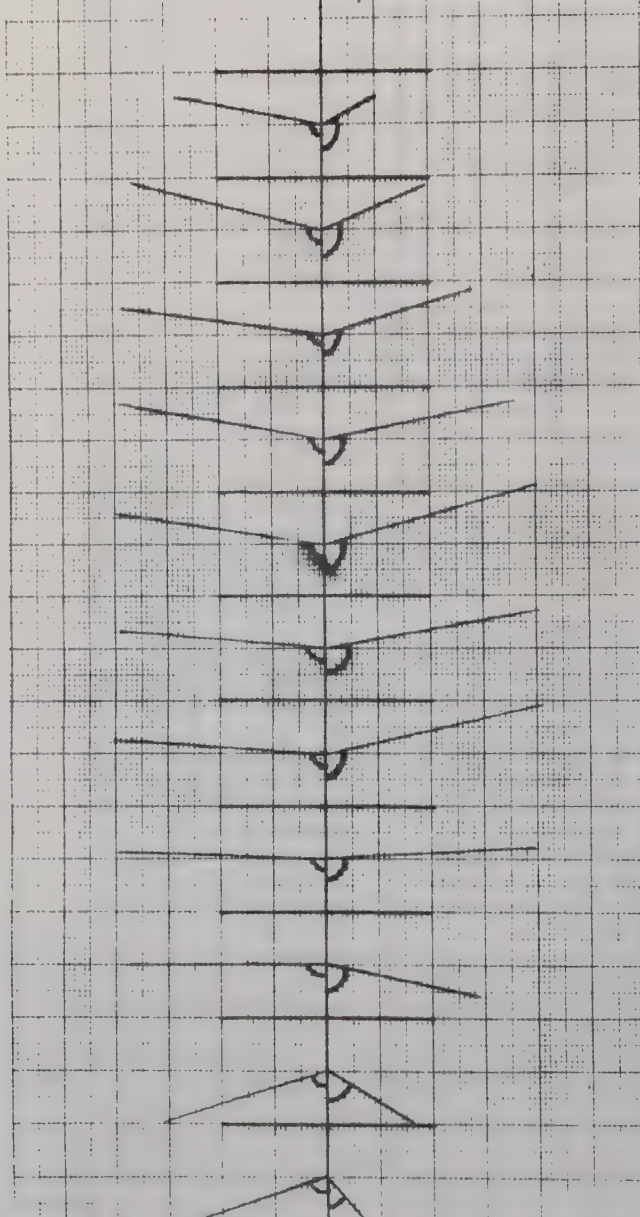
Abb. 20: Graphische Darstellung der arithmetischen Mittelwerte der Spongiosaverlaufsrichtungen über alle 6 Schnitte hinweg, unterteilt nach unbezahnte, frontbezahnte und vollbezahnte Unterkiefer.

so, Höhen,





15°, Hohen 1-11



versit.

ling.

unbezahnte LK

Neben der Richtung des Spongiosaverlaufes ist sicherlich die im Unterkiefer eingebaute Menge mineralisierter Substanz von entscheidender Bedeutung. Nachdem das Ziel der Arbeit nicht eine densiometrische Bestimmung, also eine Bestimmung der mineralisierten Substanzmenge ist, soll dieses Problem nur erwähnt werden.

Die in Abschnitt E II tabellarisch wiedergegebene Anzahl an in die Kompakta einstrahlende Spongiosaelementen werden in Abbildung (21) getrennt nach lingual und vestibulär im Mittel graphisch dargestellt. Wenn ein Unterkiefer, auch was die Spongiosa anbetrifft, eine funktionelle Anpassung aufweist, so sind je nach Bezahnung unterschiedliche Spongiosaelementenzahlen zu erwarten.

Die Diskussion der oben angegebenen Graphen ist nur in Verbindung mit der gleichzeitigen Betrachtung der Unterkieferquerschnittsform sinnvoll.

Zum einen ist an den Stellen des Unterkiefers mit größeren Querschnitten ein größeres Widerstandsmoment gegeben; hier zeigt der Unterkiefer auch eine größere Steifigkeit. Es ist also zu erwarten, daß im Bereich des Schnittes 1 (relativ kleiner Unterkieferquerschnitte) eine größere Anzahl von Spongiosabälkchen den dort relativ elastischen Unterkiefer in seiner Festigkeit zu unterstützen sucht. Diese Hypothese wird ganz eindeutig sowohl für die linguale als auch für die vestibuläre Seite bestätigt.

Interessant sind weiterhin die unterschiedlichen Bälkchenzahlen nach der Bezahnung der Unterkiefer unterteilt. Bei unbezahnnten Unterkiefern ist der Bälkchenzahlgradient von Schnitt 1 - Schnitt 6 relativ geringer als bei Teilbezahnnten oder Vollbezahnnten.

Es hat den Anschein, als ob der relativ geringe Gradient der Bälkchenzahl beim unbezahnten Unterkiefer auf das Tragen von Prothesen zurückzuführen ist. Die Vollprothese hat bei der Mastikation einen Schienungseffekt am Unterkiefer, wodurch dem Unterkiefer beim Kauakt eine relativ geringere Steifigkeit abverlangt wird, als es beim Bezahnten der Fall ist. Darüber hinaus wird die kontinuierliche Kompaktaoberfläche bei bezahnten Unterkiefern durch die Alveolen unterbrochen; es tritt an diesen Stellen eine gewisse Störung des Hohlprofiles auf und somit werden dort größere Spongiosabälkchenmengen angelegt, wobei die Natur dadurch an diesen Stellen die Festigkeitseinbußen des diskontinuierlichen Hohlprofils teilweise kompensiert. Diese Deutung findet auch beim quantitativen Vergleich der Gradienten der Graphen 1 - 3 in der Abbildung (21) eine Bestätigung.

Man ersieht aus Kurve 21 in beiden Darstellungen über alle sechs Unterkieferschnitte hinweg eine wesentlich geringere Spongiosabälkchenzahl. Darüber hinaus fällt auf, daß die Ordinaten der Graphen 1 - 3 in der Region des Schnittes S 4 ((6er)) den geringsten quantitativen Unterschied aufweisen. Dieses Verhalten ist einleuchtend, wenn man bedenkt, daß sich die drei Kurven nur aus den unterschiedlichen Bezahnungsverhältnissen der untersuchten Unterkiefer ergeben haben. In jedem Fall, d.h. gleichgültig ob voll-, front- oder unbezahnter Unterkiefer, wird beim Kauen von jedem Unterkiefer prinzipiell in der Region des Kieferwinkels dieselbe Festigkeit gefordert. Beim vollbezahnten Unterkiefer endet im Kieferwinkel die Bezahnung und somit spielt sich jedes Kauverhalten dieser Kiefergruppe immer vor dem Kieferwinkel ab. Naturgemäß gilt für den nur frontbezahnten Unterkiefer derselbe Tatbestand. Beim unbezahnten Unterkiefer, - also in den meisten Fällen wohl bei den prothesentragenden Unterkiefern - ist dies genauso, denn auch die totale Prothese endet im Kieferwinkel.

Nachdem die Graphen 1 - 3 als Mittelwerte der Bälkchenzahlen über

Abb. 21: Anzahl der einstrahlenden Spongiosaelemente in die Kompakta als Funktion der Schnittstellen des Unterkiefers, unterteilt nach Bezahnungsgruppen.

	$\hat{=}$	unbezahnte Unterkiefer
	$\hat{=}$	frontbezahnte Unterkiefer
	$\hat{=}$	vollbezahnte Unterkiefer

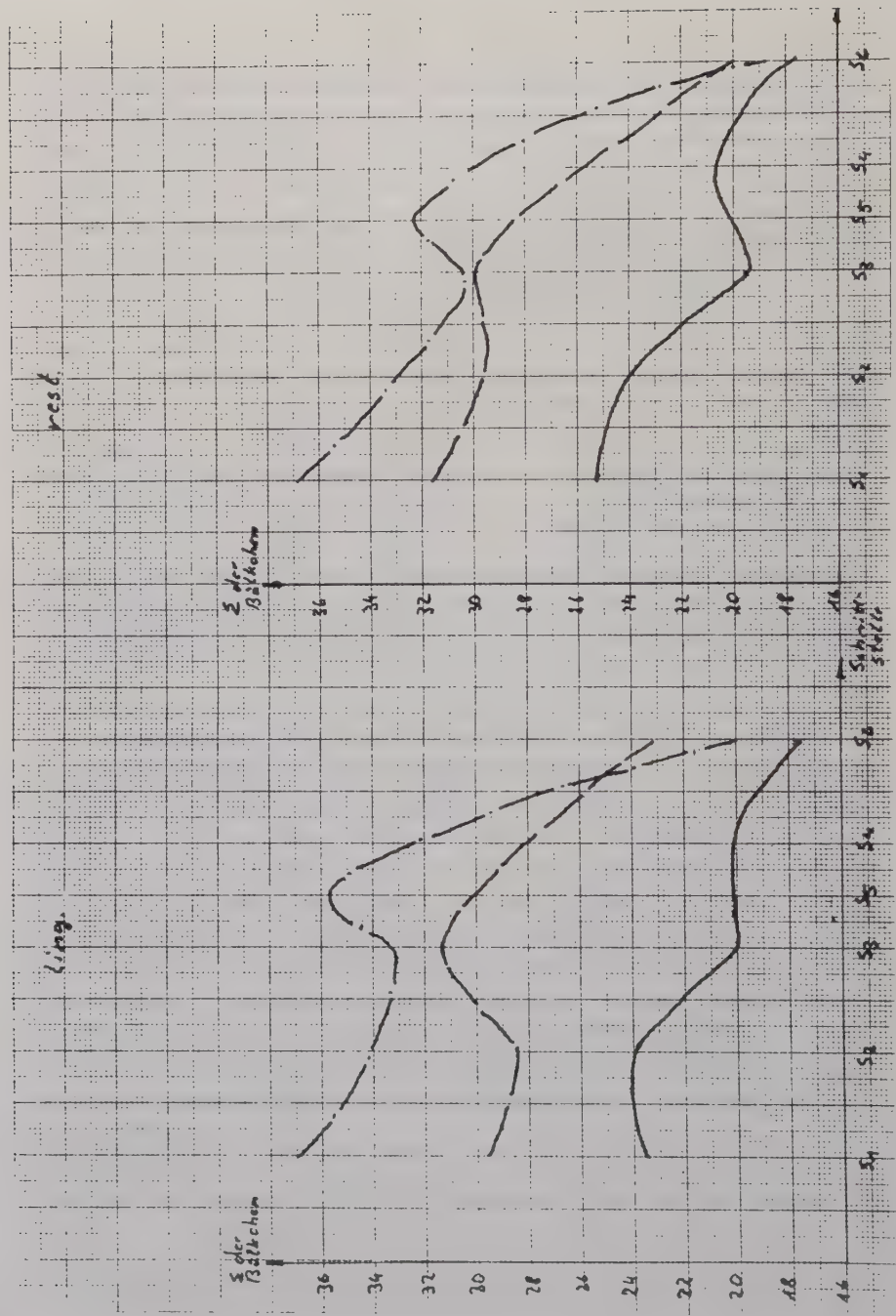
rest.

Σ der
Balkchen

Σ der
Balkchen

Σ der
Balkchen

ling.



die Schnitte 1 - 6 verstanden werden müssen, ist auch zu erwarten, daß die Bälkchenzahlen der nur frontbezahnten Unterkiefer geringer sein müssen als die der vollbezahnten Unterkiefer, aber größer als die der unbezahnten Unterkiefer. Nur frontbezahnte Unterkiefer haben nämlich weniger "Fehlstellen" im Hohlprofil als Vollbezahnte, da die Alveolenzahl kleiner ist.

Da sich die Richtungen der Spongiosabälkchen als funktionell angepaßt an die mechanische Belastung des Unterkiefers ergeben und darüber hinaus im Grenzbereich zwischen Spongiosa und Kompakta im Groben gesehen senkrecht in die Kompakta einstrahlen, ist auch die relativ hohe Standardabweichung der Spongiosabälkchenrichtungen - wie früher beschrieben - erklärbar.

G Zusammenfassung

Untersucht wird die Frage, ob die Spongiosastruktur des menschlichen Unterkiefers eine bezahnungs- und damit belastungsspezifische Verlaufsrichtung aufweist.

Ziel der Arbeit ist die Zuordnung der Spongiosaverlaufsrichtung nach Lokalisation der Schnittstelle und topographischer Position im Unterkiefer.

Nach einem geschichtlichen Überblick werden die Theorien der funktionellen Anpassung des Knochens, am Modell der Kompakta- und Spongiosastruktur des menschlichen Unterkiefers diskutiert.

Anhand von 142 Leichenunterkiefen wird die Spongiosaverlaufsrichtung an gleich dicken Schnitten röntgenologisch dargestellt und statistisch ausgewertet.

Nach einer kritischen Fehlerbetrachtung ergeben sich Zuordnungen des Spongiosaverlaufes nach Zahnbestand und damit hypothetisch individuell spezifischem Mastikationsverhalten.

H Literaturverzeichnis

- 1 AEBY, C.: Zur Architektur der Spongiosa. Zbl. med. Wiss. 11, 785 (1873)
- 2 ASSMANN, W.: Knochen und Trabekel als Ausdruck von Kieferbelastung. Dargestellt wurden Unterkiefer und nachgeprüft an einigen Fällen von Unterkieferdeformitäten. med. Dissertation, Würzburg (1921)
- 3 BARTH, M.: Über die funktionelle Struktur des Oberkieferapparates bei Neuweltaffen. Anat. Hefte, 56, 171 (1925)
- 4 BENNINGHOFF, A.: Spaltlinien am Knochen, eine Methode zur Ermittlung der Architektur platter Knochen. Verh. Anat. Ges. Jena, 34, 189 (1925)
- 5 BENNINGHOFF, A.: Über die Anpassung der Knochen-Kompakta an geänderte Beanspruchungen. Anat. Anz. 63, 289 (1927)
- 6 BENNINGHOFF, A.: Die Architektur der Kiefer und ihre Weichteilbedeckung Paradentium. Jahrgang 6, 3, 50 (1934)
- 7 BRAUNSCHWEIGER, H.: Die Bedeutung der Spongiosa des Unterkiefers für das Röntgenbild. Dtsch. Zahnk., 56, 64 (1922)
- 8 CULMANN, K.: Die graphische Statik, Zürich, I, 1873
- 9 CONRAD, M.L.: Trajektoriensystem im Unterkiefer. med. Dissertation. Düsseldorf (1949)

- 10 CSERNYEI, J.: Knochenstruktur und Röntgenbild des processus alveolaris. Zahnärztl. Rdsch., Berlin, 62, 346 (1953)
- 11 DAVIDA,,: zit. Lenhossek (1920)
- 12 DIECK, W.: Anatomie und Pathologie der Zähne und Kiefer im Röntgenbilde. Fortschr. Röntgenstr. Erg. 25, (1911) L. Gräfe v. Gillem, Hamburg;
- 13 DOWGJALLO, N.D.: Die Struktur der Kompakta des Unterkiefers bei normalem und reduziertem Alveolarfortsatz. 7. Anat. entw. Gesch. 60, 55 (1932)
- 14 FRANKE, O.: Beitrag zur funktionellen Anpassung des Knochens mit besonderer Berücksichtigung des Unterkiefers vor und nach Zahnverlust. med. Dissertation. Marburg (1922)
- 15 GÖRKE, O.: Beitrag zur funktionellen Gestaltung des Schädels bei den Anthropomorphen und Menschen durch Untersuchung mit Röntgenstrahlen. Arch. Anthrop. 29, 91 (1903)
- 16 GOCHT,,: Die Herstellung von Knochenstrukturbildern mittels Röntgenstrahlen. Fest. Geb. Röntgenstr. Hamburg, 1, 57 (1898)
- 17 GRUNEWALD, M.: Über die Beanspruchung und den Aufbau des menschlichen Unterkiefers und die mechanische Bedeutung des Kinns. Arch. Anthrop. 18, 100 (1921)
- 18 HOFFMANN, B.: Festigkeitstheoretische Überlegungen und Spannungsoptische Modellexperimente zur Frage: Besitzt der Unterkieferkörper eine trajektorielle Struktur. med. Dissertation, Freiburg (1968)

- 19 HUMPHRY, : zit. Evans (1957)
- 20 KATZ, A.: Architektur des Unterkiefers im Zusammenhang mit der Lage der Wurzeln und der Widerstandsfähigkeit des Zahnbogens beim Erwachsenen. Vjschr. Zahnhk. 47, 85 (1931)
- 21 KNESE, K.H.: Knochenstruktur als Verbundbau, Georg Thieme, Stuttgart 1958
- 22 KÖRBER, K.H.: Zahnärztliche Prothetik Georg Thieme, Stuttgart 1975
- 23 KONERMANN, H.: Quantitative Bestimmung der Materialverteilung im Knochen mit einer neuen photographischen Methode. med. Dissertation Köln (1971)
- 24 KÜPPERS, K.: Analyse der funktionellen Struktur des menschlichen Unterkiefers Springer, Heidelberg, Berlin, New York (1971)
- 25 LANGE, W.: Über die Methodik zur Darstellung struktureller Eigenarten im Knochen. med. Dissertation, Berlin (1933)
- 26 LAUTENBACH, E.: Knochenstrukturen im Bereich des menschlichen Oberkiefers. Zahnärztl. Welt, 81, 1121 (1972)
- 27 LAUTENBACH, E.: Studien über die feinere Struktur des menschlichen Unterkieferknochens, Zahnärztl. Welt 81, 427 (1972)
- 28 LENHOSSEK, M. von: Das innere Relief des Unterkieferastes. Arch. Anthropol., 18, 7 (1920)

- 29 LINDENFELSER, B.: Strukturen der Knochenspongiosa. Virchows Arch. Abt. B. Zellpath., 5 (1970)
- 30 LONQUIST, J.A.J.: Osteosynthese bei Kieferfrakturen. med. Dissertation, Münster (1971)
- 31 MEYER, v.H.: Zur genauen Kenntniss der Substantia spongiosa der Knochen. Beitr. z. Biologie als Festschr. f. Th. L. W. v. Bichoff. Cotasche Buchhandl., Stuttgart, 1 (1882)
- 32 MOTSCH, A.: Spannungsoptische Experimente zur funktionellen Anatomie des Unterkiefers. med. Habil., Freiburg (1965)
- 33 PAUWELS, F.: Bedeutung und kausale Erklärung der Spongiosaarchitektur in neuer Auffassung. Ärztl. Wschr. 3, 23, 379 (1948)
- 34 PIERT, M.: Quantitative Bestimmung der Materialverteilung nach Röntgenbildern des menschlichen Unterkiefers und ihre Abhängigkeit nach Beanspruchung. med. Dissertation, Köln (1975)
- 35 SCHMITT, H.P.: Über die Beziehungen zwischen Dichte und Festigkeit des Knochens am Beispiel des menschlichen Femurs. Zschr. Anat. Entw. gesch. 127, 1 (1968)
- 36 SICHER, H. u. TANDLER, J.: Anatomie für Zahnärzte. Verl. Inl. Springer, Berlin (1968)
- 37 SEIPEL, C.: Über den strukturellen Bau des Unterkiefers beim Menschen. med. Dissertation, Bonn (1934)
- 38 TOLDT, C.: Über einige Struktur- und Formverhältnisse des menschlichen Unterkiefers. Korresp. bl. Dtsch. Ges. Anthropol. 35, 94 (1904)

- 39 WALKHOFF, O.: Aufnahmen der Gesichtsknochen mit Röntgenstrahlen. Korresp. bl. Zahnärzte (1898)
- 40 WALKHOFF, O.: Der menschliche Unterkiefer im Lichte der Entwicklungsmechanik. Dtsch. Mschr. Zahnhk. Teil I., 18, 529 (1901)
- 41 WALKHOFF, O.: Der menschliche Unterkiefer im Lichte der Entwicklungsmechanik. Dtsch. Mschr. Zahnhk. Teil II., 19, 2 (1901)
- 42 WALKHOFF, O.: Der Unterkiefer des Anthropomorphen und des Menschen in seiner funktionellen Entwicklung und Gestalt. 4. Lieferung von Selenca, Menschenaffen, Studien ihrer Entwicklung und Schädelbau. Kreidelverlag, Wiesbaden 1902
- 43 WEGENER, K.: Über Zweck und Ursache der menschlichen Kinnbildung. Zschr. Morph., 26, 165 (1926)
- 44 WEIDENREICH, F.: Über formbestimmende Ursachen am Skelett und die Erblichkeit der Knochenform Arch. Entw. med. 51, 436 (1922)
- 45 WEIGERT, M.: Anregung der Knochenbildung durch elektrischen Strom. Springer, Berlin - Heidelberg - New York (1973)
- 46 WILKENS, J.K.: Unterkieferfrakturen in den Jahren 1965 bis 1971 ihre Diagnostik und Therapie sowie der Heilungsverlauf. med. Dissertation, Würzburg (1974)
- 47 WINKLER, R.: Über den funktionellen Bau des Unterkiefers. Zschr. Stomat. 19 (1921)

- 48 WOLFF, J.: Das Gesetz der Transformation der Knochen. Aug. Hirschwald, Berlin (1892)

- 49 WOLFF, J.: Bemerkungen zur Demonstration von Röntgenbildern der Knochenarchitektur. Klin. Wschr. Berlin, 3, 381 (1900)

- 50 ZEIGER, K.: Das Problem der funktionellen Struktur des Knochens. Natur u. Museum. 63, 77 (1933)

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. D. Schlegel für die Überlassung des Themas.

Herrn Dr. med. dent., Dipl. Ing. P. Stroinigg bin ich für viele wertvolle Hinweise sehr zu Dank verpflichtet. Nicht zuletzt sei Herrn Prof. Dr. H. Frick für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes in der anatomischen Anstalt der LMU München gedankt. In diesem Zusammenhang sind darüber hinaus Frau Prof. Dr. E. Chr. Dingler, Herr Prof. Dr. H. Löweneck, Herr Dr. U. Müller und Herr Oberpräp. Haubner zu erwähnen.

Bei der Erstellung der makroskopischen Präparate, sowie bei der statistischen Auswertung der Meßergebnisse, fand ich in Herrn Dipl. Phys. W. Kessler große Unterstützung. Herr Dr. med. vet. E. Kohz war mir bei der röntgenologischen Auswertung der Schnitte eine Hilfe.

Lebenslauf

11. Juni 1950	Geboren in Ingolstadt Vater: Karl Schamberger Mutter: Hermine Schamberger
1956 - 1964	Volksschule Dollnstein
1964 - 1968	Lehre als Werkzeugmacher
1965 - 1969	Berufsaufbauschule Ingolstadt
1970 - 1974	Fachhochschule München (Feinwerktechnik) Abschluß Ing. (grad.)
1974 - 1975	Berufstätigkeit
1975 - 1980	Studium der Zahnmedizin an der LMU München Im Laufe des klinischen Studiums konnte ich die vorliegende Arbeit anfertigen.

